

**PENGARUH VOLUME PERBAIKAN TANAH TERHADAP NILAI
CBR PADA TANAH LUNAK DENGAN CAMPURAN KAPUR, SEMEN,
DAN *FLY ASH***

(PROYEK TOL GEMPOL-PASURUAN)

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**AINUL MUSTAFID
NIM. 145060101111035**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**



LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VOLUME PERBAIKAN TANAH TERHADAP NILAI CBR PADA TANAH LUNAK DENGAN CAMPURAN KAPUR, SEMEN, DAN *FLY ASH*

(PROYEK TOL GEMPOL-PASURUAN)

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian
persyaratan memperoleh gelar Serjana Teknik



Disusun oleh:

AINUL MUSTAFID

145060101111035

Skripsi ini telah dinyatakan lulus dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada 18 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. Yulvi Zaika, MT
NIP. 19680707 199403 2 002

Dr. Ir. As'ad Munawir, MT
NIP. 19591111 198601 1 003

Mengetahui
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac)
NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi : Pengaruh Volume Perbaikan Tanah Terhadap Nilai CBR Pada Tanah Lunak Dengan Campuran Kapur, Semen, Dan Flyash (Proyek Tol Gempol-Pasuruan)

Nama Mahasiswa : Ainul Mustafid

NIM : 145060101111035

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Geoteknik

Tim Dosen Penguji :

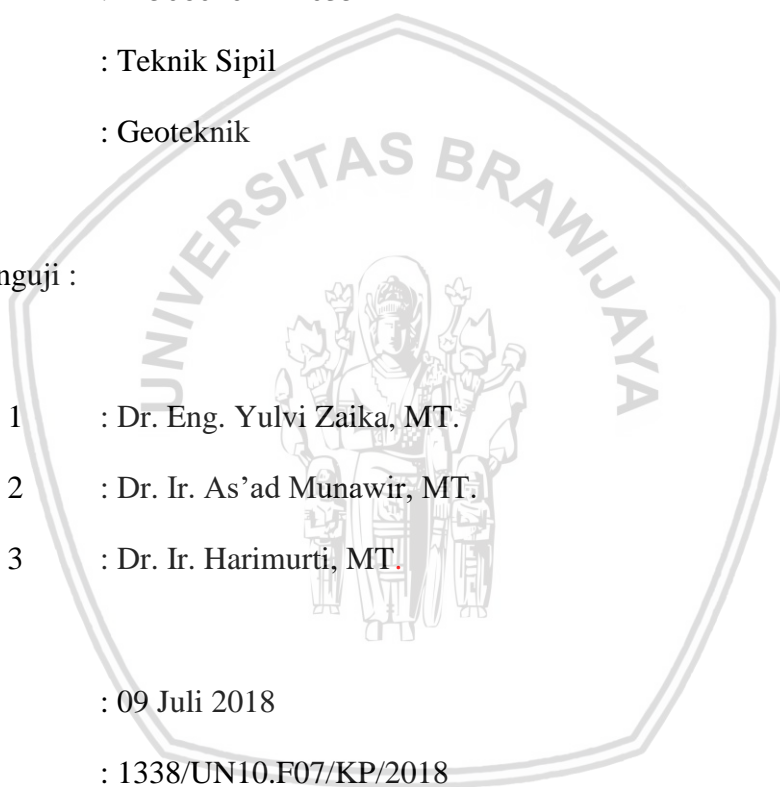
Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. As'ad Munawir, MT.

Dosen Penguji 3 : Dr. Ir. Harimurti, MT.

Tanggal Ujian : 09 Juli 2018

SK Penguji : 1338/UN10.F07/KP/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah hasil pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

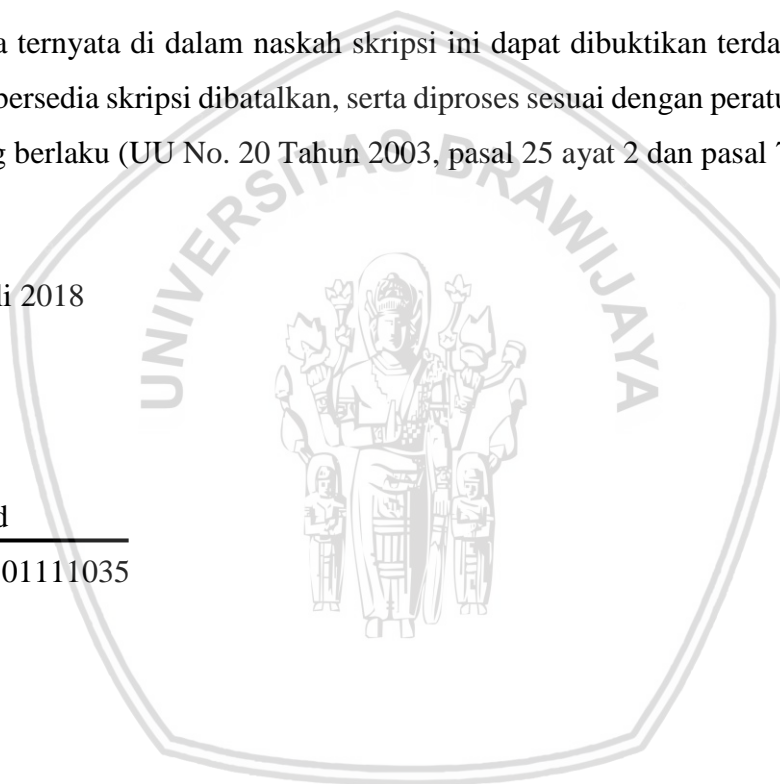
Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 16 Juli 2018

Mahasiswa,

Ainul Mustafid

NIM. 145060101111035



RIWAYAT HIDUP

Ainul Mustafid, lahir di Sidoarjo, 08 Oktober 1995, anak ketiga dari bapak Saiful Fuad dan Ibu Nadhiroh Tuzzuhriyah. Menjalani pendidikan sekolah dasar di SD Menganti Permai, lalu melanjutkan pendidikan menengah pertama di MTsn 2 Surabaya, dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 2 Surabaya dan lulus pada tahun 2014. Kemudian dilanjutkan dengan mengambil pendidikan sarjana di Universitas Brawijaya Jurusan Teknik Sipil dan lulus pada tahun 2018.

Selama kuliah aktif mengikuti beberapa kepanitiaan dan menjadi asisten tugas besar di Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

Malang, 19 Juli 2018

Penulis





*Kupersembahkan ini untuk
Ayah, Mama, dan Kakakku yang tersayang*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa, yang senantiasa memberikan berkat, kekuatan, dan kemudahan kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Pengaruh Volume Tanah Terhadap Nilai CBR Pada Tanah Lunak Dengan Campuran Kapur, Semen, Dan Fly Ash (Proyek Tol Gempol – Pasuruan)"** ini.

Skripsi yang disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik ini, diharapkan dapat menjadi sumbangsih bagi ilmu pengetahuan khususnya pengembangan dalam bidang Geoteknik. Selain itu, pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Eng. Yulvi Zaika dan Dr. Ir. As'ad Munawir, MT, sebagai dosen pembimbing atas segala arahan, masukan dan bimbingan yang telah diberikan.
2. Dr. Ir. Arief Rachmansyah, Dr. Ir. Harimurti, MT., dan Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D, sebagai dosen Geoteknik yang telah memberikan saran dan masukan pada skripsi ini.
3. Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
4. Dr. Eng. Eva Arifi, ST, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
5. Dr. Eng. Indradi Wijatmiko ST,. M. Eng (Prac) selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil yang sangat membantu dalam kelancaran skripsi ini.
6. Bapak Saiful Fuad selaku ayah saya yang telah memberikan dukungan moril, materil serta do'a beliau selama pengerjaan skripsi ini yang membuat saya kuat.
7. Ibu Nadhiroh Tuzzuhriyah selaku ibu saya yang membuat saya tabah dan semangat dalam menjalankan dan menyelesaikan skripsi ini dengan lancar serta dukungan do'a dari beliau.
8. Pak Ketut sebagai Teknisi Mekanika Tanah yang telah membantu pada penelitian ini.
9. Kyai Makki selaku guru saya yang memberikan do'a serta ilmu yang membuat saya tabah dan kuat selama pengerjaan skripsi ini.
10. M.Aliel Amrullah dan Ririz Yudha Z. yang memberikan do'a serta bantuan selama saya mengerjakan skripsi ini

11. Teman-teman dalam tim skripsi Stadium Akhir (Alit, Fathur, Nisa, Reza, Arinda, Adis, Mawan, Yandri) yang telah bekerja bersama-sama dalam mengerjakan skripsi dari awal hingga akhir.
12. Kediaman o' yang telah mendukung saya untuk mengerjakan skripsi ini dengan tepat waktu.
13. Dan teman-teman angkatan 2014 serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dengan segala keterbatasan kemampuan saya sebagai manusia biasa tentunya skripsi ini sangat jauh dari kata sempurna. Karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.



Malang, 29 Juni 2018

Ainul Mustafid

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN.....	xiii
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Pembatasan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tanah Lunak.....	7
2.1.1 Lanau	8
2.1.2 Lempung.....	8
2.2.1.2 Lempung Lunak.....	9
2.1.3 Klasifikasi Tanah Sistem USCS.....	11
2.1.4 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO	14
2.2 Uji Laboratorium.....	17
2.2.1 Uji Pemadatan (<i>Compaction</i>)	17
2.2.2 Uji <i>California Bearing Ratio</i> (CBR)	18
2.2.3 Metode Pencampuran Tanah	18

2.2.3.1	Pencampuran Tanah Dangkal.....	19
2.2.3.2	Pencampuran Tanah Dalam.....	20
2.3	Stabilisasi Tanah.....	22
2.3.1	Stabilisasi Tanah dengan Kapur	23
2.3.2	Stabilisasi Tanah dengan semen	26
2.3.3	Stabilisasi Tanah dengan <i>fly ash</i>	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		31
3.1	Waktu dan Tempat	31
3.2	Alat dan Bahan	31
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	31
3.4	Pengujian	33
3.5	Analisa Data	33
3.6	Rancangan Penelitian	34
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Pembacaan Data SPT	37
4.2	Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah	38
4.2.1	Uji Analisis Butiran.....	38
4.2.2	Sistem Klasifikasi Tanah Sistem <i>Unified</i>	39
4.2.3	Sistem Klasifikasi Tanah Sistem <i>AASHTO</i>	40
4.3	Pengujian CBR Laboratorium	41
4.3.1	Pengujian CBR TakTerendam	42
4.3.1	Pengujian CBR Terendam	49
BAB V PENUTUP		59
5.1	KESIMPULAN	59
5.2	SARAN	59
DAFTAR PUSTAKA		63
LAMPIRAN		67

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi kompresilitas tanah	10
Tabel 2.2	Sifat-sifat umum lempung lunak (Toha,1989).....	11
Tabel 2.3	Sistem klasifikasi USCS	16
Tabel 2.4	Komposisi kandungan mineral pada <i>fly ash</i>	28
Tabel 3.1	Rancangan Percobaan	34
Tabel 4.1	Pengelompokan jenis tanah berdasarkan hasil SPT.....	38
Tabel 4.2	Hasil Pengujian CBR Tak Terendam <i>Fly Ash</i> 15%	43
Tabel 4.3	Hasil Pengujian CBR Tak Terendam Kapur 6%	45
Tabel 4.4	Hasil Pengujian CBR Tak Terendam Semen 10%	47
Tabel 4.5	Nilai CBR Terendam <i>Fly Ash</i> 15%.....	50
Tabel 4.6	Nilai CBR Terendam Kapur 6%	51
Tabel 4.7	Nilai CBR Terendam Semen 10%	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram Diagram Pembentuk Tanah.....	7
Gambar 2.2	Grafik plastisitas, sistem USCS	14
Gambar 2.3	Grafik klasifikasi tanah sistem AASHTO.....	16
Gambar 2.4	Alat <i>Shallow Soil Mix</i>	20
Gambar 2.5	Alat <i>Deep Soil Mix</i>	22
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	31
Gambar 3.2	Rancangan Penelitian	33
Gambar 4.1	Analisis saringan dan hidrometer.....	39
Gambar 4.2	Klasifikasi tanah USCS.....	40
Gambar 4.3	Klasifikasi tanah AASHTO	40
Gambar 4.4	Variasi Volume Perbaikan Tanah	41

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Asli	67
Lampiran 2	Hasil Uji <i>California Bearing Ratio</i> (CBR) <i>Unsoaked</i>	75
Lampiran 3	Hasil Uji <i>California Bearing Ratio</i> (CBR) <i>soaked</i>	93
Lampiran 4	Data Pengujian SPT	105



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



RINGKASAN

Ainul Mustafid, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2018,
Pengaruh Volume Perbaikan Tanah terhadap Nilai CBR pada Tanah Lunak dengan Campuran Kapur, Semen, dan Fly ash (Proyek Tol Gempol-Pasuruan), Dosen Pembimbing: Yulvi Zaika dan Asad Munawir.

Saat ini sedang gencar-gencarnya pembangunan di Indonesia terlebih lagi pembangunan infrastruktur, seperti pembangunan gedung, jalan tol, serta fasilitas-fasilitas umum lainnya yang itu semua agar Indonesia menjadi negara yang lebih sejahtera. Pembangunan yang paling banyak dilakukan saat ini ialah pengembangan jalan tol. Tol gempol-pasuruan ini menghubungkan daerah gempol sidoarjo dengan kota pasuruan. Peralihan penggunaan lahan di daerah tersebut yang semula persawahan dan pemukiman penduduk menjadi jalan tol, diharapkan tanah yang menjadi jalan mampu menahan beban kendaraan yang berat. Tetapi tanah pada jalan tol gempol-pasuruan memiliki kandungan air tanah yang berlebih menjadikan konsistensi tanah yang tidak stabil dan struktur tanahnya masif. Penelitian pada tanah lunak dengan uji CBR dengan metode *deep soil mixing* untuk mengetahui stabilitas tanah dengan perkuatan disini dengan mencampurkan tanah lunak dengan campuran zat aditif berupa kapur, semen, dan flyash dengan campuran 30%, 50%, 60%, dan 80% dengan variasi volume tanah untuk mengetahui volume campuran yang menghasilkan nilai CBR paling optimum.

Pada penelitian ini dilakukan analisis sifat fisik dan mekanik tanah dengan hasil persentase distribusi lolos saringan no. 200 sebesar 92,15% yang berarti tanah termasuk ke dalam jenis tanah berbutir halus dengan kadar air sebesar 50,15% dan G_s sebesar 2,463. Pada pengujian *Atterberg Limit* didapatkan nilai *Liquid Limit* (LL) sebesar 56,12%, *Plastic Limit* (PL) sebesar 43,36%, *Shrinkage Limit* (SL) sebesar 11,86%, dan *Plastic Index* (PI) sebesar 12,70%, yang menurut aturan *Unified Soil Classification System* (USCS) tanah tersebut ke dalam jenis tanah MH dan menurut AASHTO tanah masuk ke dalam jenis tanah berlempung (A-7-5).

Dilakukan uji *California Bearing Ratio* (CBR) untuk mengetahui nilai daya dukung tanah (DDT) dengan variasi volume perbaikan tanah untuk tanah dalam keadaan tak terendam ialah 0%, 30%, 50%, 60%, 80%, dan 100% sedangkan untuk kondisi terendam menggunakan variasi volume perbaikan tanah 0%, 30%, 60%, 80%, dan 100% untuk tiap zat aditif. Dari hasil pengujian CBR pada tiap zat aditif didapatkan untuk campuran tanah dan *flyash* 15% didapatkan nilai CBR paling optimum pada keadaan tak terendam dengan volume perbaikan 60% sebesar 23.88% dengan prosentase peningkatan sebesar 105.86% sedangkan untuk kondisi terendam didapatkan nilai CBR optimum dengan volume perbaikan 80% sebesar 10.87% dengan prosentase peningkatan sebesar 107.44%. Untuk campuran tanah dan kapur 6% didapatkan nilai CBR optimum pada kondisi tak terendam sebesar 21.94% dengan 100% volume perbaikan tanah dan pada kondisi terendam sebesar 8.15% dengan 60% volume perbaikan tanah dengan peningkatan nilai CBR pada tiap kondisi sebesar 89.13% dan 55.5%. Dan untuk campuran tanah dan semen 10% didapatkan nilai CBR optimum untuk kondisi tak terendam dan terendam dengan 100% volume perbaikan sebesar 51.61% dan 46.02% dengan prosentase peningkatan sebesar 344.91% dan 774.24%

Kata kunci: tanah lunak, *deep soil mixing*, volume perbaikan, zat adiktif, Daya dukung tanah

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Summary

Ainul Mustafid, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, June 2018, : *The Effect of Ratio Improvement on Lime, Cement, and Fly Ash Improved Soft Soil to CBR (Gempol-Pasuruan Toll Road Project)*. Academic Supervisor: Yulvi Zaika and Asad Munawir.

Currently, the incessant development in Indonesia moreover infrastructure development, such as the construction of buildings, toll roads, and other public facilities that it all so that Indonesia becomes a more prosperous country. The most widely implemented development today is the development of toll roads. This gempol-Pasuruan toll road connects the gempol area of sidoarjo with the city of Pasuruan. The transition of land use in the area that originally rice fields and human settlements into toll roads, is expected to be a road that can withstand heavy vehicle loads. But the land on the Gempol-Pasuruan toll road has excessive groundwater content makes the soil unstable and the soil structure massive. Research on soft soil with CBR test with deep soil mixing method to find out soil stability by strengthening here by mixing soft soil with additive mixture of lime, cement, and fly ash with mixture 30%, 50%, 60%, and 80% with variation soil volume to determine the volume of mixture which yields the most optimum CBR value.

In this research, the physical and mechanical properties of the soil are analyzed by the percentage of distribution passing filter no. 200 of 92.15% which means the soil to fine-grained soil type with moisture content of 50.15% and G_s of 2,463. At Atterberg Limit testing, Liquid Limit (LL) was obtained at 56.12%, Plastic Limit (PL) of 43.36%, Shrinkage Limit (SL) of 11.86%, and Plastic Index (PI) of 12.70%, which according to the Soft Classification System (USCS) rule of the soil into the soil type MH and according to AASHTO the soil enters into the type of clay soil (A-7-5).

California Bearing Ratio (CBR) was tested to determine the soil carrying capacity (DDT) with variation of soil repair volume for soil in unsoaked condition is 0%, 30%, 50%, 60%, 80%, and 100% while for condition soaked using variation of soil improvement volume 0%, 30%, 60%, 80%, and 100% for each additive. From the results of CBR testing on each additive obtained for soil mix and flyash 15% obtained the most optimum CBR value at unsoaked condition with 60% improvement volume of 23.88% with percentage increase of 105.86% while for soaked conditions obtained optimum CBR value with volume 80% improvement of 10.87% with a percentage increase of 107.44%. For a mixture of soil and lime 6% obtained an optimum CBR value under non-submerged conditions of 21.94% with 100% volume of soil improvement and soaked conditions of 8.15% with 60% volume of soil improvement with increasing CBR value at 89.13% and 55.5%. And for the soil mixture and cement 10% obtained the optimum CBR value for the condition unsoaked and soaked with 100% repair volume of 51.61% and 46.02% with the percentage increase of 344.91% and 774.24%

Keywords: soft soil, deep soil mixing, Improvement, additive, bearing capacity

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini sedang gencar-gencarnya pembangunan di Indonesia terlebih lagi pembangunan infrastruktur, seperti pembangunan gedung, jalan tol, serta fasilitas-fasilitas umum lainnya yang itu semua agar Indonesia menjadi negara yang lebih sejahtera. Pembangunan yang paling banyak dilakukan saat ini ialah pengembangan jalan tol. Di Jawa Timur sendiri pembangunan jalan tol terdapat 9 titik salah satunya ialah jalan tol gempol-pasuruan yang memiliki panjang 34.15KM. Tol gempol-pasuruan ini menghubungkan daerah gempol Sidoarjo dengan kota Pasuruan. Pembangunan tol gempol-pasuruan ini sendiri dibagi menjadi 3 seksi, yaitu gempol-rembang yang berjarak 13.90KM dan Bangil-rembang berjarak 8KM di seksi 1, rembang-pasuruan berjarak 6.6KM di seksi 2, dan pasuruan-grati berjarak 13.65KM di seksi 3.

Peralihan penggunaan lahan di daerah tersebut yang semula persawahan dan pemukiman penduduk menjadi jalan tol, diharapkan tanah yang menjadi jalan mampu menahan beban kendaraan yang berat. Tetapi tanah pada jalan tol gempol-pasuruan memiliki kandungan air tanah yang berlebih menjadikan konsistensi tanah yang tidak stabil dan struktur tanahnya masif. Kadar air yang berlebih pada tanah mengakibatkan daya dukung tanah yang rendah, sehingga tanah dasar tidak mampu menahan beban berat di atasnya. Maka dari itu tanah yang daya dukungnya rendah harus di stabilisasi.

Stabilisasi dilakukan dengan pencampuran mekanis ataupun ditambah dengan bahan aditif. Stabilisasi tanah merupakan usaha untuk memperbaiki sifat dasar tanah yang berguna meningkatkan daya dukung tanah atau mutu tanah agar tidak membahayakan dalam pembangunan konstruksi.

Daya dukung tanah dapat dipengaruhi oleh kuat geser tanah. Variasi kadar air yang sering berubah akan mempengaruhi kuat geser tanah tersebut yang ditandai dengan perubahan kohesi tanah. Terlebih lagi tanah yang diteliti saat ini ialah tanah lunak yang mempunyai kadar air yang tinggi dan permeabilitas yang tinggi dan plastisitas yang rendah. Karena sifat tanah yang tidak menguntungkan bagi

pekerjaan konstruksi ini maka perlu penelitian untuk memperbaiki sifat tanah tersebut.

Pada penelitian yang sudah dilakukan untuk membuat tanah lunak menjadi lebih stabil dengan mencampurkan tanah lunak dengan zat aditif. Zat aditif yang dipergunakan untuk menstabilisasikan tanah lunak bisa dengan bahan industrial seperti semen, gypsum, dan kapur. Selain bahan industrial, zat aditif juga bisa diambil dari limbah produksi seperti *rice husk fly ash* (abu sekam padi), *coal bottom ash*, *steel fly ash*, *col fly ash*.

Dalam penelitian ini akan melakukan uji CBR (*California Bearing Ratio*) pada tanah lunak di Proyek jalan tol gempol-pasuruan, Jawa Timur. Dari penelitian yang dilakukan oleh Idharmahadi Adha (2011) dari Universitas Lampung dan pengambilan sampel dilakukan di daerah Lampung. Penelitian dilakukan dengan abu sekam padi dan campuran sekam padi dengan semen dicampur dengan sampel tanah yang telah ditumbuk (butir aslinya tidak pecah) dan lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dengan prosentase : 6%, 9%, dan 12% dari berat sampel tanah Untuk campuran abu sekam padi dengan semen, perbandingan antara semen dan abu sekam padi adalah 2 : 1 (dua bagian semen dan satu bagian abu sekam padi). Penambahan efektif abu sekam berfungsi pada kadar 6% dan menaikkan nilai CBR dari 17,8% menjadi 62% (unsoaked) dan 9,2% menjadi 30% (soaked).

Penelitian yang dilakukan oleh Pretty Prescilia Takaendengan, dkk (2013) dari Universitas Sam Ratulangi dan sampel tanah diambil di Desa Warembungan, Kecamatan Pineleg. Penelitian lempung ekspansif yang distabilisasi dengan semen (0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%) menunjukkan adanya peningkatan nilai daya dukung tanah yang cukup signifikan untuk setiap penambahan kadar semen. Pada campuran semen sebesar 20% terjadi peningkatan nilai daya dukung sebesar 767,01 % dari daya dukung tanah asli. Stabilisasi tanah dengan semen telah banyak digunakan pada proyek-proyek jalan di banyak negara. Untuk hasil optimum semen yang digunakan biasanya antara 3% sampai dengan 7%. Thomson (1968) menemukan bahwa dengan kadar kapur antara 4% sampai dengan 7% akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar.

Umumnya penelitian yang dilakukan dengan mencampurkan sampel tanah lunak dengan bahan aditif yang dipilih. Metode mencampurkan semua sampel ini dikenal dengan pencampuran tanah permukaan (*shallow soil mix*), pencampuran dengan cara ini dilaksanakan pada wilayah lokasi tanah yang akan didirikan

konstruksi diatasnya sehingga metode ini cukup memerlukan biaya yang lumayan tinggi dengan waktu yang lama. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian untuk metode yang lebih efektif dan efisien agar dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan untuk memperbaiki sifat tanah dasarnya. Metode yang lebih efektif yaitu pencampuran tanah dalam (*deep soil mix*)

Deep soil mix (DSM) ialah upaya perbaikan tanah dalam yang mencampurkan bahan aditif pada tanah yang ingin diperbaiki kualitasnya dengan memperhitungkan kedalaman tertentu dengan menggunakan crane yang dilengkapi alat hidrolik dan auger. DSM ini belum banyak diterapkan di Indonesia. Penelitian dengan metode ini juga belum banyak diteliti. Oleh karena itu, penelitian ini akan menggunakan metode pencampuran tanah dalam (*deep soil mix*).

Penelitian pada tanah lunak dengan uji CBR untuk mengetahui stabilitas tanah dengan perkuatan disini dengan mencampurkan tanah lunak dengan campuran zat aditif berupa kapur, semen, dan *fly ash* dengan campuran 30%, 50%, 60%, dan 80% dengan variasi volume tanah. Penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan daya dukung tanah lunak pada proyek jalan tol gempol-pasuruan

1.2. Identifikasi Masalah

Ditinjau dari permasalahan yang ditimbulkan oleh tanah lunak pada konstruksi diatasnya, analisis lebih lanjut sangat perlu dilakukan. Dengan identifikasi sebagai berikut :

1. Sebuah konstruksi sangat dipengaruhi oleh tanah dasarnya, bukan hanya pergerakan yang terjadi pada tanah yang mempengaruhi tetapi juga factor alam maupun karakteristik tanah tersebut. Ini terjadi pada tanah lunak yang mempunyai kadar air yang tinggi sehingga perlu dilakukan stabilisasi
2. Jumlah kadar air yang tinggi dalam tanah lunak disebabkan oleh permeabilitas tanah yang tinggi serta tingginya muka air di daerah tersebut yang menyebabkan daya dukung tanah rendah.
3. Di Indonesia pencampuran zat aditif dilakukan dengan pencampuran tanah dangkal (*shallow soil mix*), metode ini membutuhkan biaya yang cukup besar karena pencampuran dilakukan semua tanah pada lokasi pembangunan.

1.3. Rumusan Masalah

Dari uraian tersebut, maka dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas yaitu:

1. Bagaimana pengaruh campuran zat aditif terhadap nilai CBR tanah lunak pada proyek tol gempol-pasuruan?
2. Bagaimana pengaruh besarnya volume tanah yang diperbaiki dengan campuran semen, *fly ash*, kapur terhadap nilai CBR ?
3. Zat aditif mana yang menghasilkan nilai CBR paling maksimum?

1.4. Pembatasan Masalah

Agar lebih memperjelas ruang lingkup penelitian, maka pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tanah yang digunakan untuk penelitian ini adalah tanah lunak dari proyek jalan tol gempol-pasuruan
2. Pengujian dalam penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Jurusan Sipil Universitas Brawijaya
3. Metode perbaikan tanah lunak dalam penelitian ini menggunakan metode pencampuran tanah dalam (*deep soil mixing*)
4. Penelitian menggunakan metode uji CBR untuk mengetahui daya dukung tanah lunak
5. Bahan bahan aditif yang digunakan didapat dari toko di kawasan kota malang
6. Penelitian ini tidak membahas tentang reaksi kimia dan analisis nilai ekonomis
7. Pencampuran sampel tanah dengan bahan aditif dianggap homogen dan dilakukan diluar mold

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

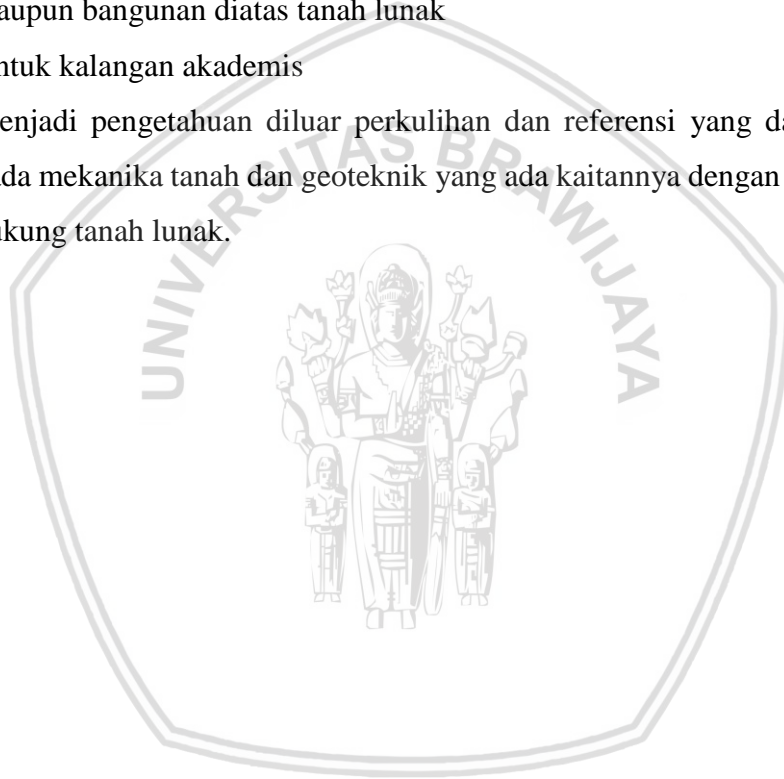
1. Mengetahui pengaruh campuran zat aditif terhadap nilai CBR tanah lunak pada proyek tol gempol-pasuruan

2. Untuk mengetahui pengaruh besarnya volume tanah yang diperbaiki dengan campuran semen, *fly ash*, kapur terhadap nilai CBR
3. Mengetahui campuran mana yang menghasilkan nilai CBR maksimum pada tanah lunak.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diharapkan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk praktisi lapangan
Sumber informasi dan pertimbangan untuk merancang suatu konstruksi jalan maupun bangunan diatas tanah lunak
2. Untuk kalangan akademis
Menjadi pengetahuan diluar perkuliahan dan referensi yang dapat digunakan pada mekanika tanah dan geoteknik yang ada kaitannya dengan perkuatan daya dukung tanah lunak.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

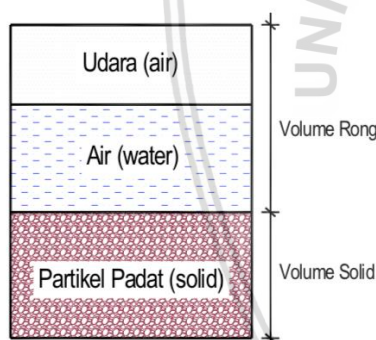


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lunak

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) padat yang tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang – ruang kosong diantara partikel – partikel padat tersebut (Das, 1988). **Gambar 2.1** menunjukkan bahwa tanah terdiri tiga komponen utama yaitu udara, air, dan bahan padat. Ruang di antara butiran tanah yang disebut sebagai pori (*voids*) dapat terisi oleh air atau udara. Apabila pori tersebut terisi oleh air seluruhnya, tanah dikatakan dalam kondisi jenuh.



Gambar 2.1 Diagram Komponen Pembentuk Tanah (Das, 1994)

Tanah lunak mengandung mineral-mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi. Indonesia tidak lepas dari tanah lunak karena tanah lunak di Indonesia menempati area > 20 juta hektar atau > 10% dari tanah daratan di Indonesia. Dan itupun tersebar di daerah kota besar dan pusat pertumbuhan ekonomi negara (panduan Geoteknik 1, 2001). Menurut Soetjiono (2008) pada umumnya tipe dan jenis tanah lunak ditentukan oleh sifat dan karakteristik tanah, yang meliputi: perubahan volume, jumlah dan jenis kandungan mineral, berat isi asli, perubahan kadar air, kepadatan tanah, kondisi pembebanan, struktur tanah dan waktu.

Das (1993) menyatakan nilai hasil pengujian di lapangan dan di laboratorium, akan menunjukkan bahwa tanah tersebut lunak apabila: Koefisien rembesan (k) sangat rendah ≤ 0.0000001 cm/dt, Batas cair (LL) $\geq 50\%$, Angka pori (e) antara 2,5 – 3,2, Kadar air dalam keadaan jenuh antara 90% - 120%, dan Berat spesifik (G_s) berkisar antara 2,6 – 2,9. Pengertian tanah lunak menurut Rachlan (1986) dan Bina Marga (1999) adalah tanah yang umumnya terdiri dari tanah lempung termasuk material pondasi yang sangat jelek karena kadar airnya yang tinggi, permeabilitas rendah dan sangat compressible dan tanah yang secara visual dapat ditembus dengan ibu jari minimum sedalam ± 25 mm, atau mempunyai kuat geser 40 kpa berdasarkan uji geser baling lapangan.

2.1.1 Lanau

Dalam sistem klasifikasi tanah, lanau dikategorikan diantara pasir dan tanah lempung. Tanah lanau termasuk tanah berbutir halus bersamaan dengan tanah lempung. Lanau memiliki sifat plastisitas lebih rendah daripada lempung dan mudah ditembus air sehingga memperlihatkan sifat dilatansi yang tidak terdapat pada lempung. Dilatansi adalah sifat yang menunjukkan gejala perubahan isi apabila lanau itu dirubah bentuknya. Tanah lanau terbagi menjadi 2 kategori, yaitu lanau yang dikarakteristikan sebagai tepung batu yang tidak berkohesi dan tidak plastis, dan lanau yang bersifat plastis. Sifat-sifat teknis lanau tepung batu lebih mendekati sifat pasir halus. Lanau memiliki kekuatan geser *undrained* yang rendah yaitu sekitar 10-20 kPa untuk tanah lanau yang lunak dan 4-10 kPa untuk tanah lanau yang sangat lunak. Tingkat plastisitasnya rendah dan memiliki permeabilitas yang tinggi sehingga penurunan konsolidasi terjadi begitu cepat. Sebagian besar tanah lanau berukuran sangat kecil yang terdiri dari butiran-butiran yang sangat halus dan partikel-partikelnya berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral mika. Menurut beberapa organisasi, lanau merupakan tanah berbutir halus yang memiliki rata-rata diameter 0,002 – 0,0075 mm.

2.1.2 Lempung

Tanah lempung merupakan tanah yang bersifat multi komponen yang terdiri dari tiga fase yaitu padat, cair, dan udara. Bagian yang padat merupakan polymorphous terdiri dari mineral inorganic dan organis. Mineral – mineral lempung merupakan substansi – substansi Kristal yang sangat tipis yang pembentukan utamanya berasal dari perubahan

kimia pada pembentukan mineral – mineral batuan dasar. Semua mineral lempung sangat tipis termasuk dalam kelompok – kelompok partikel kristalnya berukuran koloid ($<0,002$ mm) dan hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop electron.

Mitchell (1976) memberikan batasan bahwa yang dimaksud dengan ukuran butir lempung adalah partikel tanah yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm, sedangkan mineral lempung adalah kelompok – kelompok partikel kristal berukuran koloid ($<0,002$ mm) yang terjadi akibat proses pelapukan dari batuan ditambah dengan sifatnya yang dijelaskan lebih lanjut. Sedangkan menurut Craig (1987), tanah lempung adalah mineral tanah sebagai kelompok – kelompok partikel kristal koloid berukuran kurang dari 0,002 mm, yang terjadi akibat proses pelapukan kimia pada batuan yang salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam ataupun alkali, dan karbondioksida.

Lapisan lunak umumnya terdiri dari tanah yang sebagian besar terdiri dari butiran-butiran yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Pada lapisan lunak, semakin muda umur akumulasinya, semakin tinggi letak muka airnya. Lapisan muda ini juga kurang mengalami pembebanan sehingga sifat mekanisnya buruk dan tidak mampu memikul beban.

Sifat lapisan tanah lunak adalah tegangan gesernya yang kecil, kemampatan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil. Jadi, bilamana pembebanan konstruksi melampaui daya dukung kritisnya maka dalam jangka waktu yang lama besarnya penurunan akan meningkat yang akhirnya akan mengakibatkan berbagai kesulitan.

Lempung yang terkonsolidasi normal adalah tanah lempung yang tidak pernah menderita tekanan yang lebih besar daripada tekanan yang ada pada saat sekarang. Tanah ini pada umumnya cenderung sangat kompresibel, mempunyai daya dukung ultimit rendah, dan sebagaimana pada tanah-tanah lempung lainnya, mempunyai permeabilitas yang sangat rendah. Sedangkan lempung terkonsolidasi lebih adalah lempung yang pada masa silam pernah menderita tekanan yang lebih besar daripada tekanan yang ada sekarang.

2.1.2.1 Lempung Lunak

Tanah lempung lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian besarnya dari butir – butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat lapisan tanah lempung lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampatan yang besar,

koefisien permeabilitas yang kecil dan memiliki daya dukung yang rendah dibandingkan dengan tanah lempung lainnya. Tanah – tanah lempung lunak secara umum mempunyai sifat – sifat sebagai berikut :

1. Kuat geser rendah
2. Berkurang kuat gesernya bila kadar air bertambah
3. Berkurang kuat gesernya bila struktur tanahnya terganggu
4. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat
5. Menyusut bila kering dan mengembang basah
6. Kompresibilitasnya besar (**Tabel 2.1**)

Tabel 2.1 Klasifikasi kompresilitas tanah (Coduto, 1994)

Tingkat Pemampatan (C)	Klasifikasi
0 – 0,05	Tingkat kemampatan sangat kecil
0,05 – 0,1	Tingkat kemampatan kecil
0,1 – 0,2	Tingkat kemampatan sedang
0,2 – 0,35	Tingkat kemampatan tinggi
>0,35	Tingkat kemampatan sangat tinggi

7. Berubah volume dengan bertambahnya waktu akibat rangkai pada beban yang konstan
8. Merupakan material kedap air

Menurut Terzaghi (1967) tanah lempung kohesif diklasifikasikan sebagai tanah lempung lunak apabila mempunyai daya dukung ultimit lebih kecil dari 0,5 kg/cm² dan nilai standard penetrasi tes lebih kecil dari 4 (N-value < 4). Berdasarkan uji lapangan, lempung lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah oleh jari-jari tangan. Toha (1989) menguraikan sifat umum lempung lunak seperti dalam **Tabel 2.2**

Tabel 2.2 Sifat-sifat umum lempung lunak (Toha, 1989)

No.	Parameter	Nilai
1.	Kadar air	80 – 100%
2.	Batas cair	80 – 100%
3.	Batas plastis	30 – 45%
4.	Lolos saringan no.200	>90%
5.	Kuat geser	20 – 40 Kn/m ²

2.1.3 Klasifikasi Tanah Sistem USCS (*Unified Soil Classification System*)

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh *Casagrande* (1942) untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers*. Dalam sistem ini, *Cassagrande* membagi tanah atas 3 (tiga) kelompok yaitu :

- Tanah berbutir kasar, <50% lolos saringan no. 200
- Tanah berbutir halus, >50% lolos saringan no. 200
- Tanah organik yang dapat dikenal dengan warna, bau, dan sisa-sisa tumbuhan yang terkandung di dalamnya.

Sistem klasifikasi berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas adalah sistem klasifikasi kesatuan tanah. Percobaan laboratorium yang dipakai adalah analisis ukuran butir dan batas-batas Atterberg. Semua tanah diberi dua huruf penunjuk berdasarkan hasil-hasil percobaan ini. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu :

- Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*), yaitu : tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal **G**, adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan **S**, adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
- Tanah berbutir halus (*fine grained soil*), yaitu : tanah dimana lebih dari 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal **M** untuk lanau (*silt*) anorganik, **C** untuk lempung (*clay*) anorganik dan **O** untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol **PT**

digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck* dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi **USCS**, adalah :

W = tanah dengan gradasi baik (*well graded*)

P = tanah dengan gradasi buruk (*poorly graded*)

L = tanah dengan plastisitas rendah (*low plasticity*), $LL < 50$

H = tanah dengan plastisitas tinggi (*high plasticity*), $LL > 50$

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : *GW*, *GP*, *GM*, *GC*, *SW*, *SP*, *SM* dan *SC*. Untuk klasifikasi yang benar, perlu diperhatikan faktor-faktor berikut ini :

1. persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (ini adalah fraksi halus)
2. persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
3. koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c) untuk tanah dimana 0 – 12 % lolos ayakan No. 200
4. batas cair (LL) dan indeks plastisitas (IP) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah dimana 5 % atau lebih lolos ayakan No. 200).

Bilamana persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 adalah antara 5 sampai 12 %, symbol ganda seperti : *GW-GM*, *GP-GM*, *GW-GC*, *GP-GC*, *SW-SM*, *SW-SC*, *SP-SM* dan *SP-SC* diperlukan, secara rinci dibagikan dalam **Tabel 2.3**

Klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol *ML*, *CL*, *OL*, *MH*, *CH* dan *OH* didapat dengan cara menggambar batas cair dan indeks plastisitas tanah yang bersangkutan pada bagan plastisitas (*Casagrande*, 1948) yang diberikan dalam **Tabel 2.3**. Garis diagonal pada bagan plastisitas terdapat garis *A* dan *U*, ditunjukkan pada **Gambar 2.2**. Garis *A* dan *U* tersebut diberikan dalam persamaan :

$$A \longrightarrow PI = 0,73.(LL - 20)$$

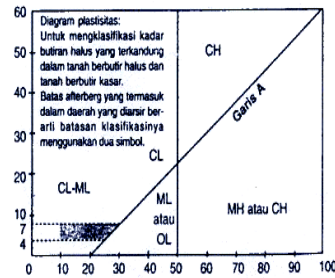
$$U \longrightarrow PI = 0,9 (LL - 8)$$

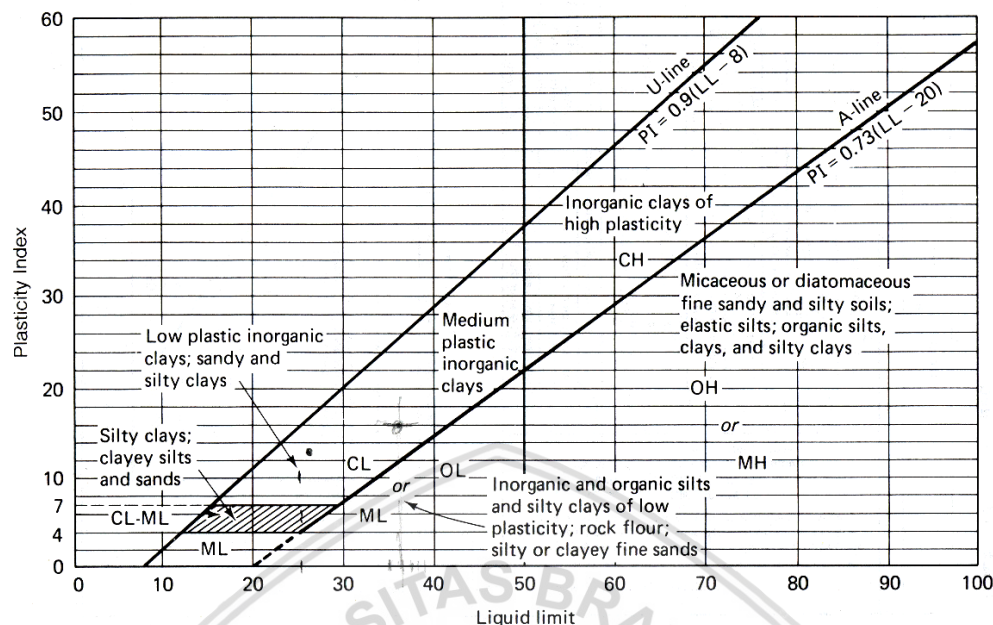
Keterangan :

PI = Plasticity Index (%)

LL = Liquid Limit (%)

Tabel 2.3. Sistem Klasifikasi USCS

Divisi			Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi	
Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar terahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus: Kurang dari 50% lolos saringan no. 200; GM, GP, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no. 200: GM, GC, SM, SC, 5% 12% lolos saringan no. 200: Batasan Klasifikasi yang mempunyai simbol doble	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol doble
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 60$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ atau 1 dan 3	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.			
	Pasir bersih kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol doble
		SC	Pasir berlanau, campuran pasir-lempung		Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML		Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau bertempung	 <p>Batas Cair LL (%) Garis A: $PI = 0,73 (LL - 20)$</p>
			CL		Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('clean clays')	
Lanau dan lempung batas cair > 50%		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.			
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')			
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi			
Tanah dengan organik tinggi			Gambut ('peat'), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat ASTM Designation D-2488		



Gambar 2.2 Grafik Plastisitas (ASTM, Cassagrande)

2.1.4 Klasifikasi Tanah Berdasarkan ASSHTO

Tanah pada umumnya dapat diklasifikasikan menjadi tanah kohesif dan tanah tidak kohesif. Dikarenakan pengelompokkan yang terlalu luas memungkinkan terjadinya pengklasifikasian yang sama untuk tanah-tanah yang memiliki kemiripan pada sifatnya. Disamping itu, pengelompokkan tanah tersebut kurang detil untuk menentukan apakah suatu keadaan tanah akan sesuai untuk suatu konstruksi.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) merupakan salah satu sistem klasifikasi tanah yang sering digunakan untuk pembangunan jalan raya. Sistem klasifikasi tanah ini diawali oleh U.S Bureau of Public Roads dengan mengklasifikasikan tanah menjadi tujuh kelompok yaitu A-1 sampai A-7 yang dimana membutuhkan data sebagai berikut :

1. Analisis ukuran butiran
2. Batas cair dan plastis

Indeks kelompok dihitung dengan persamaan :

$$GI = (F-35) \{0,2 + 0,005 (LL-40)\} + 0,01 (F-15) (PI-10) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

GI = Indeks Kelompok

F = Persentase tanah lolos saringan No. 200

LL = Batas Cair

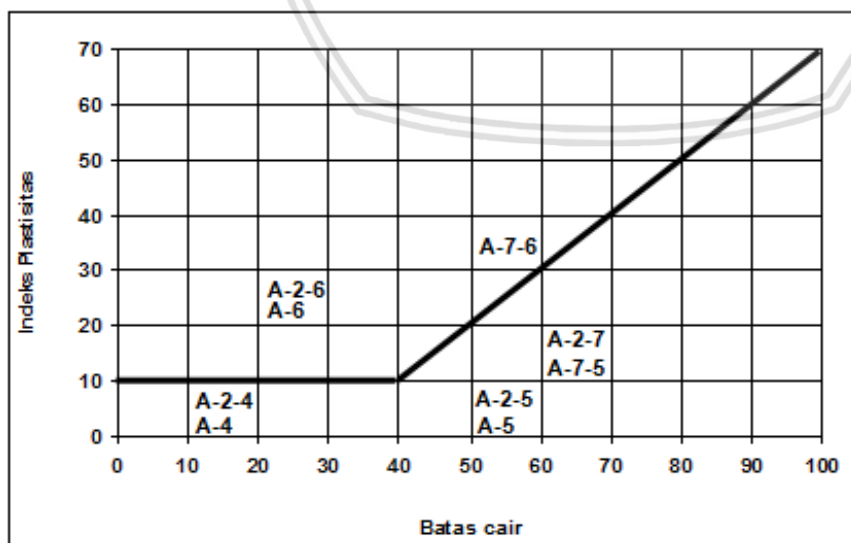
PI = Indeks Plastisitas

Menurut AASHTO seperti pada **gambar 2.3**, tanah dapat diklasifikasikan ke dalam 7 (tujuh) kelompok besar yaitu A-1 hingga A-7. Tanah yang diklasifikasikan A-1, A-2 dan A-3 merupakan tanah berbutir yaitu 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200, sedangkan tanah yang diklasifikasi A-4, A-5, A-6 dan A-7 adalah tanah yang lebih dari 35% dan butirannya lolos ayakan No.200. Dimana masing-masing dibedakan lagi menjadi :

- 1) A-1 (A-1-a ; A-1-b), kelompok ini termasuk granular. Tanah yang terdiri dari kerikil dan pasir kasar dengan atau tanpa sifat plastis.
- 2) A-2 (A-2-4 ; A-2-5 ; A-2-6 ; A-2-7), termasuk kelompok gravel dan sand, terdiri dari pasir halus dengan sedikit sekali butir halus lolos No. 200 dan tidak plastis.
- 3) A-3, termasuk kelompok gravel dan sand, kelompok batas tanah berbutir kasar dan halus dan merupakan campuran kerikil atau pasir dengan tanah berbutir halus cukup banyak ($< 35\%$)
- 4) A-4, tanah lanau dengan sifat plastis rendah
- 5) A-5, tanah lanau yang mengandung lebih banyak butiran plastis, sehingga sifat plastisnya lebih besar dari A-4
- 6) A-6 (silt dan clay), tanah lempung yang masih mengandung butiran pasir dan kerikil, namun sifat perubahan volumenya cukup besar.
- 7) A-7, tanah lempung yang lebih bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan yang cukup besar.

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2-4	A-2		
	A-1-a	A-1-b			A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos Ayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
Klasifikasi kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6^
Analisa ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Min 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

*Untuk A-7-5, $PI \leq LL-30$ ^Untuk A-7-6, $PI > LL-30$ 

Gambar 2.3 Grafik klasifikasi tanah sistem AASHTO

2.2 Uji Laboratorium

2.2.1 Pemadatan

Pemadatan merupakan proses menaikkan berat satuan tanah dengan cara memaksa butiran-butiran tanah menjadi lebih rapat sehingga mengurangi pori-pori udara. Hal ini dilakukan dengan menggunakan beban statis atau dinamis pada tanah. Pemadatan itu sendiri memiliki tujuan untuk memperbaiki stabilitas dan daya dukung tanah yang di mana sifat-sifat fisis tanah berubah menjadi lebih baik sehingga memenuhi kriteria suatu pekerjaan konstruksi tertentu.

Pengujian pemadatan standar telah dikembangkan di tahun 1933 oleh Ralph R. Proctor yang bertujuan untuk mendapatkan *Optimal Moisture Content* (OMC) dari kepadatan suatu tanah yang mencapai *dry density* (berat jenis) maksimum. Terdapat dua macam pengujian pemadatan, yaitu pengujian pemadatan Proktor standard dan pengujian pemadatan Proktor modifikasi. Proctor menjelaskan bahwa terdapat 4 (empat) variabel yang mempengaruhi pemadatan tanah, yaitu:

1. usaha pemadatan
2. jenis tanah
3. kadar air
4. berat satuan kering (atau angka pori)

Pengujian pemadatan dilakukan pada tanah basah (dengan kadar air terkontrol) dalam suatu cetakan atau *mold* dengan jumlah lapisan tertentu. Setiap lapisan kemudian dipadatkan dengan jumlah tumbukan tertentu menggunakan penumbuk yang memiliki massa dan tinggi jatuh tertentu. Dalam percobaan pemadatan, beberapa contoh tanah dicampur dengan kadar air tertentu yang nantinya tiap contoh tanah dicampur dengan kadar air yang semakin meningkat, dipadatkan di dalam cetakan dan setelah itu ditimbang. Apabila diketahui berat tanah basah di dalam cetakan yang volumenya diketahui, maka berat satuan basah dapat langsung dihitung sebagai

$$\gamma_{wet} = \frac{\text{Berat tanah basah di dalam cetakan}}{\text{Volume cetakan}} \dots\dots\dots(2.3)$$

ketika kadar air (w) diperoleh dari tanah yang dipadatkan, maka berat satuan kering dapat dihitung sebagai

$$\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{wet}}{1+w} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dari hasil beberapa contoh tanah yang dipadatkan dapat menggambarkan kurva berat satuan kering dengan kadar air.

2.2.2 CBR (*California Bearing Ratio*)

Uji CBR sering digunakan untuk mendapatkan nilai kuat tanah dasar pada pembuatan perkerasan jalan raya yang kemudian nilai CBR tersebut akan digunakan untuk menentukan tebal perkerasan jalan. Nilai CBR berbanding terbalik dengan tebal perkerasan. Semakin besar nilai CBR yang didapat, maka tebal perkerasan yang digunakan akan semakin kecil. Secara teoritis CBR (*California Bearing Ratio*) adalah perbandingan tegangan yang terjadi pada suatu material dengan tegangan standar dari batu *boulder* yang dilakukan di California dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Biasanya pengujian CBR untuk mengetahui tingkat kekerasan material perkerasan jalan raya. CBR dapat diujikan di laboratorium ataupun di lapangan langsung.

Pengujian CBR Laboratorium menggunakan contoh tanah kering udara dan dicampur dengan sejumlah air sesuai dengan kadar air optimum yang didapat dari uji pemadatan. Contoh tanah yang telah tercampur dengan baik kemudian dipadatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 56 kali pada tiap lapisan, dimana terdapat tiga lapisan yang terbagi rata sesuai dengan tinggi mold. Untuk pemeriksaan CBR tidak terendam (*unsoaked CBR*), benda uji langsung diperiksa dengan alat uji CBR. Sedangkan untuk CBR terendam (*soaked*) benda uji direndam terlebih dahulu selama 4 hari.

Dengan menggunakan grafik yang telah diolah, nilai CBR dapat dihitung dengan cara membagi masing – masing tegangan dengan bahan standar CBR pada penetrasi 0,1” dengan tegangan standar sebesar 1000psi serta pada penetrasi 0,2” dengan tegangan standar 1500 psi dan nilai tersebut dikalikan dengan 100%. Nilai CBR yang digunakan yaitu pada penetrasi 0,1”. Apabila terjadi koreksi grafik, maka beban yang dipakai adalah beban yang sudah dikoreksi pada 2,54 mm (0,1 inch) dan 5,08 mm (0,2 inch) dengan catatan apabila nilai CBR pada 0,1” lebih kecil dari 0,2” maka percobaan CBR harus diulang. Dan apabila pada pengujian yang kedua masih mendapatkan nilai CBR pada 0,1” lebih kecil daripada 0,2” maka nilai CBR yang digunakan adalah nilai yang terbesar.

2.2.3 Metode Pencampuran Tanah

Metode pencampuran ini merupakan teknologi perbaikan tanah yang digunakan untuk memperbaiki tanah dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan dan mengurangi kompresibilitas. Metode ini termasuk metode mekanis yang

dilakukan dengan cara pencampuran tanah asli dengan bahan aditif seperti *fly ash* atau bahan lainnya dengan kadar tertentu. Ada dua kategori umum untuk metode ini yaitu pencampuran tanah dangkal (*Shallow Soil Mix*) dan pencampuran tanah dalam (*Deep Soil Mix*).

2.2.3.1 Pencampuran Tanah Dangkal (*Shallow Soil Mix*)

Shallow Soil Mix (SSM) merupakan metode pencampuran bahan aditif dengan tanah kondisi asli pada permukaannya saja, biasanya metode ini digunakan hanya untuk kedalaman maksimum yaitu 10 m. Pada metode SSM ini digunakan *backhoe* besar dengan lengan ayun yang panjang dengan perangkat hidrolik dinamis yang digunakan untuk proses pencampuran bahan aditif pada bagian ujung lengan ayun. Proses pencampuran bahan aditif pada metode SSM ini diawali dengan pembuatan kolam dengan menggunakan *backhoe* sesuai dengan dimensi yang direncanakan, kemudian dilanjutkan dengan pencampuran kolam tanah sesuai dengan bahan aditif yang akan digunakan dengan menggunakan *backhoe custom* yang dilengkapi dengan auger untuk alat pencampur dan nozel injeksi untuk menyuntikkan bahan campuran pada tanah. Setelah bahan aditif tercampur sesuai dengan kadar tertentu dilanjutkan dengan proses pemadatan untuk mendapatkan daya dukung tanah yang diinginkan (Arias et al, tanpa tahun).



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.4 Alat *shallow soil mix* (SSM): (a) *bucket mixing type*; (b) *rotary blendertype*; (c) *trencer type*. Sumber: Kitazume (2014).

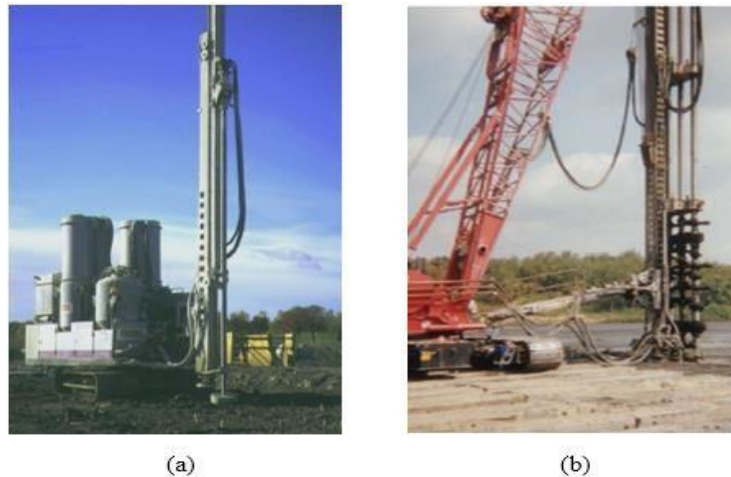
2.2.3.2 Pencampuran Tanah Dalam (*Deep Soil Mix*)

Deep Soil Mix (DSM) merupakan metode pencampuran tanah dengan bahan aditif dengan kedalaman melebihi 30 m. Untuk proses pelaksanaan metode DSM ini digunakan bantuan *crane* yang dilengkapi auger hidrolik yang dapat menyemprotkan bahan aditif pada ujung dan sisi auger. Proses pencampuran diawali dengan pengeboran pada titik yang telah direncanakan pada kedalaman tertentu, setelah kedalaman yang diinginkan tercapai dilanjutkan dengan proses pencampuran bahan aditif dengan cara

menyemprotkan bahan aditif pada auger dengan putaran terbalik dengan menggunakan kecepatan yang lebih tinggi sambil menarik auger ke atas. Setelah proses pencampuran selesai dilanjutkan dengan proses pemadatan pada titik tanah daerah yang diperbaiki kondisinya. Hal yang membedakan antara *shallow soil mix* dengan *deep soil mix* adalah tanah yang dicampurkan. Jika pada metode *shallow soil mix* penyampuran dilakukan pada seluruh permukaan maka *deep soil mix* ini proses pencampurannya hanya pada titik-titik pengeboran sehingga biaya dapat dikurangi sesuai dengan kebutuhan perbaikan tanah (Arias et al, tanpa tahun).

Terdapat dua jenis cara pencampuran dalam pelaksanaan metode *deep soil mix* (DSM) yaitu metode basah dan kering. Pada metode basah, bahan aditif dicampurkan dalam keadaan basah seperti bubur kemudian diinjeksikan pada tanah untuk dicampurkan. Metode pencampuran basah merupakan metode yang paling umum digunakan untuk pencampuran tanah dalam (*deep soil mix*). Pada metode basah kondisi muka air tanah tidak berpengaruh sehingga metode ini cocok untuk berbagai kondisi tanah. Untuk menghindari melekatnya tanah pada pisau poros berputar (auger) maka alat pencampurannya biasa dilengkapi dengan baling-baling anti-rotasi.

Berbeda dengan metode basah, metode kering ini pencampuran bahan aditifnya dalam kondisi kering (berbentuk bubuk) dengan menggunakan tekanan udara. Pada teknik pencampuran kering biasanya digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanah dan mengurangi kompresibilitas tanah lempung yang sangat lunak atau lembut. Pada pencampuran metode kering harus diperhatikan kondisi kadar air tanah asli yaitu minimal 20% karena tidak ditambahkan air pada bahan aditif untuk reaksi hidrasinya. Namun karena pencampuran metode kering menggunakan tekanan udara, metode ini rentan mengalami masalah munculnya lubang kawat akibat proses dispersi yang rumit dan kurang efektifnya pengikat sehingga metode kering memiliki kedalaman yang terbatas yaitu hanya dengan kedalaman maksimal 33 m (Fiorotto, 2014).



Gambar 2.5 Alat deep soil mix (DSM): (a) deep soil mixing; (b) wet dry mixing.

Sumber: Bruce, et al (2013).

2.3 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan-tambah buatan pabrik, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik. sifat-sifat teknis tanah tersebut dapat berupa kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan, dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air, maka dapat dilakukan dengan cara penanganan dari yang paling mudah, seperti pemadatan sampai teknik yang lebih mahal, seperti : mencampur tanah dengan semen, kapur, abu terbang, injeksi semen (*grouting*) dan lainnya.

Dalam suatu proyek, landasan kerja untuk alat berat membutuhkan permukaan jalan yang kuat. Maka dari itu, bila tanah di lokasi proyek tidak memenuhi syarat, maka dibutuhkan penanganan yang cukup, sehingga alat berat dapat bekerja. Dengan penanganan tersebut, waktu pelaksanaan menjadi lebih cepat dan efisien. Stabilisasi dilakukan bila tanah di lokasi proyek tidak memenuhi syarat bula digunakan untuk rekayasa bangunan tertentu.

Umumnya stabilisasi tanah dibagi menjadi dua, yaitu :

1. stabilisasi mekanis
2. stabilisasi dengan bahan-tambah

Stabilisasi mekanis adalah stabilisasi tanah yang dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Material yang telah dicampur ini, kemudian

dihamparkan dan dipadatkan di lokasi proyek. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk di tempat dan menggantinya dengan material granuler dari tempat lain.

Stabilisasi tanah dengan menggunakan bahan-tambah atau *additive* adalah dengan cara menambahkan bahan-tambah tersebut ke dalam tanah dengan perbandingan yang tepat sehingga dapat memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti : kekuatan, tekstur, kemudahan dikerjakan (*workability*) dan plastisitas. Contoh bahan-tambah olahan pabrik adalah kapur, semen Portland, abu-terbang (*fly-ash*), aspal, dan lain-lain. Stabilisasi tanah dengan bahan *additive* atau yang biasanya disebut dengan stabilisasi kimiawi bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik dan sesuai dengan yang diinginkan.

2.3.1 Stabilisasi Tanah dengan Kapur

Kapur berasal dari batukapur alami, dan tipe kapur tertentu yang terbentuk bergantung pada material induk dan proses produksinya. Menurut SNI 03-4147-1996 tipe kapur dibagi menjadi 4 macam yaitu;

- 1) Kapur tipe I yaitu kapur yang mengandung kalsium hidrat tinggi; dengan kadar magnesium oksida (MgO) paling tinggi 4%,
- 2) Kapur tipe II yaitu kapur magnesium atau dolomite yang mengandung magnesium oksida lebih dari 4% dan maksimum 36% berat,
- 3) Kapur tohor (CaO) yaitu hasil pembakaran batukapur pada suhu $\pm 90^{\circ}\text{F}$, dengan komposisi sebagian besar kalsium karbonat (CaCO_3),
- 4) Kapur padam, yaitu kapur dari hasil pemadaman kapur tohor dengan air, sehingga berbentuk hidrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Sejak lama campuran lempung-kapur telah banyak dipakai sebagai bahan bangunan. Di Amerika, sejak tahun 1920-an stabilisasi tanah dengan kapur telah dipakai untuk membangun jalan tanpa perkerasan, yaitu untuk mencegah terjadinya alur-alur dan disintegrasi permukaan jalan selama musim hujan dan musim salju.

Kapur adalah kalsium oksida (CaO) yang dibuat dari batuan karbonat yang dipanaskan pada suhu sangat tinggi. Kapur tersebut umumnya berasal dari batukapur (*limestone*) atau dolomite. Penambahan kapur dalam tanah merubah tekstur tanah. Tanah lempung berubah menjadi berkelakuan mendekati lanau atau pasir, akibat penggumpalan partikel. Pencampuran tanah dengan kapur memperlihatkan pengurangan secara signifikan partikel berukuran lempung ($<0,002 \text{ mm}$) dibandingkan dengan lempung aslinya.

Stabilisasi tanah menggunakan kapur lebih cocok dilakukan terhadap tanah lempung dibandingkan dengan tanah granuler. Larutan kapur dapat dilakukan untuk perawatan tanah yang terlalu basah atau kering. Untuk aplikasi jalan raya, stabilisasi tanah-kapur banyak digunakan untuk bangunan lapis pondasi-bawah (*subbase*) atau perbaikan tanah-dasar (*subgrade*). Stabilisasi tanah kapur telah banyak digunakan pada proyek jalan raya, bandara, dan jalan kerja pada area proyek.

Penambahan kapur pada tanah akan menghasilkan kepadatan maksimum yang lebih rendah dan kadar air optimum yang dihasilkan lebih tinggi daripada bagi tanah yang tidak diperbaiki. Serta kapur mengakibatkan penurunan indeks plastisitas. Stabilisasi tanah menggunakan kapur sering digunakan untuk menurunkan potensi pengembangan atau (*swelling*) dan tekanan pengembangan pada tanah lempung. Penambahan kapur menghasilkan konsentrasi ion-ion kalsium yang tinggi dalam lapis ganda sekeliling partikel-partikel lempung, sehingga mengurangi tarikan bagi air.

Biasanya kekuatan lempung basah dapat dinaikkan apabila ditambahkan kapur dengan jumlah yang tepat. Kenaikan kekuatan ini diakibatkan sebagian oleh penurunan sifat-sifat plastis dari lempung dan sebagian oleh reaksi pozzolanis dari kapur dengan tanah, yang menghasilkan bahan tersemen yang kenaikan kekuatannya dipengaruhi waktu. Tanah yang diperbaiki dengan kapur, pada umumnya, mempunyai kekuatan yang lebih besar dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada tanah-tanah yang tidak diperbaiki.

Menurut Rollings dan Rollings (1996), mekanisme reaksi tanah-kapur adalah sebagai berikut :

Penambahan kapur ke dalam tanah, memberikan ion-ion kalsium yang berlimpah (ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+}). Ion-ion Ca ini cenderung menggantikan kation-kation pada umumnya, seperti sodium (Na^+) atau potassium (K^+) yang berada pada partikel lempung. Proses ini disebut sebagai pertukaran kation. Penggantian sodium atau potassium dengan kalsium akan mereduksi indeks plastisitas partikel lempung secara signifikan. Penambahan kapur yang memberikan kenaikan pH tanah, juga menambah kapasitas pertukaran kation. Akibatnya, walaupun tanah mempunyai kalsium yang tinggi, stabilisasi tanah dengan kapur tetap akan mereduksi plastisitas tanah.

Pada umumnya, penambahan kapur dalam tanah berbutir halus, oleh adanya air akan menyebabkan reaksi-reaksi, sebagai berikut (Rollings dan Rollings, 1996):

- 1) Ketika tanah dicampur kapur dan ditambah air, dalam tanah berbutir halus timbul pertukaran kation dengan cepat dan reaksi pengumpulan-pengumpulan. Pengumpulan dan penggumpalan menghasilkan perubahan tekstur: partikel-

partikel lempung menggumpal secara bersama-sama, sehingga terbentuklah partikel-partikel tanah dengan ukuran yang lebih besar. Pertukaran kation dan flokulasi menyebabkan perbaikan dengan cepat pada : plastisitas tanah, kemudahan dikerjakan (*workability*), kekuatan, dan sifat-sifat tegangan deformasinya.

- 2) Reaksi pozzolanik tanah-kapur terjadi dalam bentuk variasi bahan perantara sementasi. Hasil reaksinya adalah menambah kekuatan campuran yang telah dipadatkan dan keawetannya. Reaksi pozzolanik merupakan reaksi yang bergantung pada waktu dan temperature. Kekuatan ultimit campuran berkembang secara bertahap, dan dalam beberapa hal dapat berlangsung sampai beberapa tahun. Temperature yang tinggi lebih mempercepat reaksi.

Kapur, bila ditambahkan dalam tanah lempung basah, kapur menjadi terhidrasi dan menyebabkan tanah menjadi kering dengan segera. Karena itu, kapur dapat berfungsi untuk mengeringkan tanah di area proyek basah. Kapur tohor (CaO) lebih cepat mengeringkan tanah dibandingkan kapur terhidrasi $\{\text{Ca}(\text{OH})_2\}$.

Ketika kapur ditambahkan dalam tanah lempung, walaupun sedikit, plastisitas tanah bertambah tajam dalam waktu yang singkat. Kenaikan plastisitas bersama-sama dengan penyerapan air oleh kapur yang kering dan sejumlah kecil reaksi awal yang dihasilkan, nampak di lapangan sebagai aksi pengeringan. Dengan kata lain, lempung yang awalnya dalam kondisi plastis dapat menjadi semi-padat atau mudah pecah. Proses selanjutnya, interaksi antara lempung-air menjadi terhalang, sehingga indeks plasitas (*PI*) berkurang dan batas susut (*SL*) bertambah. Distribusi butiran tanah juga berubah. Butiran baru, yaitu agregat lempung yang tersementasi secara lemah, kebanyakan menjadi berukuran mendekati butiran pasir. Setelah campuran tanah-kapur dipadatkan, maka terjadi kenaikan kadar air optimum dan pengurangan berat volume kering maksimum, bila dibandingkan dengan tanah yang tidak dicampur kapur. Pencampuran lempung dengan kapur juga mengurangi potensi pengembangan dan tekanan pengembangan (Kreb dan Walker, 1971)

Umumnya, ada 2 tujuan utama penggunaan kapur untuk stabilisasi tanah, yaitu:

- 1) kapur untuk memodifikasi sifat-sifat tanah, yaitu untuk mengurangi plastisitas, menambah mudah dikerjakan, menambah diameter butiran dan lain-lain. Di sini, kriteria untuk stabilisasi campuran secara mekanik diterapkan.
- 2) Kapur ditujukan untuk stabilisasi tanah secara permanen.

2.3.2 Stabilisasi Tanah dengan Semen

Berdasarkan ASI (Asosiasi Semen Indonesia), Semen adalah perekat hidraulis bahan bangunan, artinya akan jadi perekat bila bercampur dengan air. Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara mencampurkan batu kapur yang mengandung kapur (CaO) dan lempung yang mengandung silika (SiO_2), oksida alumina (Al_2O_3) dan oksida besi (Fe_2O_3) dalam oven dengan suhu kira-kira 145°C sampai menjadi klinker. Klinker ini dipindahkan, digiling sampai halus disertai penambahan 3-5% gips untuk mengendalikan waktu pengikat semen agar tidak berlangsung terlalu cepat (Aman Subakti, 1994).

Dalam semen Portland ini terdapat susunan senyawa semen yang berfungsi sebagai berikut :

1. $\text{C}_3\text{S} = 3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (Trikalsium Silikat) mempunyai andil yang besar terhadap fungsi sebagai perekat dan dapat mengeras jika bereaksi dengan air sehingga dapat meningkatkan kekuatan tekan
2. $\text{C}_2\text{S} = 2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (Dikalsium Silikat) berfungsi sama dengan C_3S
3. $\text{C}_3\text{A} = 3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (Trikalsium Aluminat) dalam semen *portland* tidak berfungsi sebagai perekat. Senyawa ini hanya berfungsi sebagai fluks (bahan pelebur) sewaktu masih ada dalam tungku pembakaran, sehingga akan mudah terbentuk senyawa C_3S dan C_2S
4. $\text{C}_4\text{AF} = 4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (Tetra Alumineferrit) berfungsi sama seperti C_3A serta andil terhadap warna semen.
5. Gips = $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ berfungsi sebagai retarder atau memperlambat waktu pengerasan tepung semen *portland* bila bercampur dengan air.
6. Selain itu terdapat komposisi kimia lain seperti : $\text{C} = \text{CaO}$, Na_2O , K_2O dalam jumlah yang kecil.

Perbaikan tanah lempung dengan *portland cement* (PC) merupakan proses kimia yang dapat mengubah struktur tanah dengan jalan membentuk butiran agregat yang lebih besar sehingga akan memberikan pengaruh yang sangat menguntungkan. Peristiwa kimia terjadi antara tanah dan *portland cement* (PC), ketika keduanya dicampur dengan menambahkan sejumlah air. Hasil dari proses pencampuran adalah semakin besar prosentase semen, berat isi kering tanah semakin bertambah dan kadar air optimum tanah semakin berkurang (Pretty, 2013)

Penelitian yang dilakukan oleh Andriani et al, (2012) menggunakan *portland cement* (PC) type I dan tanah lempung yang berasal dari daerah Lambung Bukit, Padang.

Penambahan *portland cement* (PC) yang dilakukan adalah dengan prosentase 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat tanah kering. Diperoleh nilai maksimum CBR sebesar 64,138% pada penambahan kadar semen sebesar 20% dengan γ_d maksimum 1,315 gr/cm³ dan kadar air optimum 32,9% dalam waktu perendaman selama 3 hari.

2.3.2.1. Stabilitas Tanah dengan *Fly Ash*

Fly ash merupakan bagian terbesar dari abu batubara yang memiliki ukuran butiran yang halus dan menampakkan warna keabu-abuan (Hartosukma, 2005). Pada intinya *fly ash* mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), fero oksida (Fe₂O₃) dan kalsium oksida (CaO) juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO₂), alkalin (Na₂O dan K₂O), sulfur trioksida (SO₃), pospor oksida (P₂O₅) dan sejumlah karbon (Munawir, 2014). Penambahan *fly ash* pada tanah ekspansif dimaksudkan agar terbentuk reaksi *pozzolanic*, yaitu reaksi antara kalsium yang terdapat pada *fly ash* dengan alumina dan silikat yang terdapat pada tanah, sehingga menghasilkan masa yang keras dan kaku (Gogot, 2003).

Menurut Munawir (2014), mengatakan bahwa *fly ash* adalah suatu bahan yang heterogen, terdapat beberapa faktor yang sangat mempengaruhi sifat-sifat fisik, kimia, dan teknik antara lain:

- a. Jenis batubara dan kemurniannya
- b. Derajat kehalusan
- c. Jenis ketel (*boiler*) dan operasinya
- d. Pengumpulan dan metoda penimbunan/penyimpanan

Menurut ASTM C618 *fly ash* dibagi menjadi dua kelas yaitu *fly ash* kelas C dan kelas F. Perbedaan utama dari kedua *ash* tersebut adalah banyaknya calcium, silika, aluminium dan kadar besi di *ash* tersebut.

1. *Fly ash* kelas C: diproduksi dari pembakaran batubara lignite atau sub-bituminous selain mempunyai sifat *pozzolanic* juga mempunyai sifat self-cementing (kemampuan untuk mengeras dan menambah *strength* apabila bereaksi dengan air) dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur. Biasanya mengandung kapur (CaO) >20%
2. *Fly ash* kelas F: merupakan *fly ash* yang diproduksi dari pembakaran batubara anthracite atau bituminous, mempunyai sifat *pozzolanic* dan untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan quick lime,

hydrated lime, atau semen. *Fly ash* kelas F ini kadar kapurnya rendah (CaO) <10%.

Tabel 2.4 Komposisi kandungan mineral pada *fly ash*.

Nama Mineral Yang Dikandung	Persentase Suryalaya	Persentase Paiton
Silikon Dioksida (SiO_2)	55.29%	29.80%
Ferri Dioksida (Fe_2O_3)	1.84%	12%
Aluminium Trioksida (Al_2O_3)	31.68%	22.88%
Kalsium Oksida (CaO)	0.53%	17.36%
Magnesium Oksida (MgO)	0.47%	7.85%
Sulfur Trioksida (SO_3)	1.99%	4.31%
Kalium Oksida (K_2O)	0.28%	0.55%
Natrium Trioksida (Na_2O_3)	0.83%	-
Natrium Oksida (Na_2O)	-	2.32%
Titan Dioksida (TiO_2)	-	0.65%
Posfor Pentaoksida (P_2O_5)	-	0.32%
Hilang Pada Pemijaran	2.49%	2%
Kadar Air	2.10%	-

Sumber: Abadi (1998).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

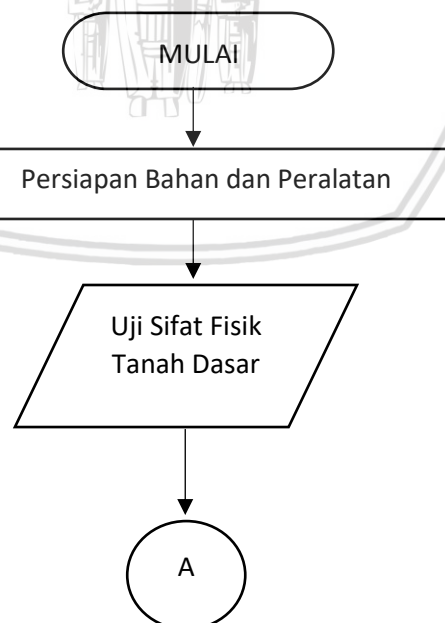
Waktu dan tempat pelaksanaan praktikum dilaksanakan pada bulan Februari 2018 sampai selesai di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geoteknik Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya.

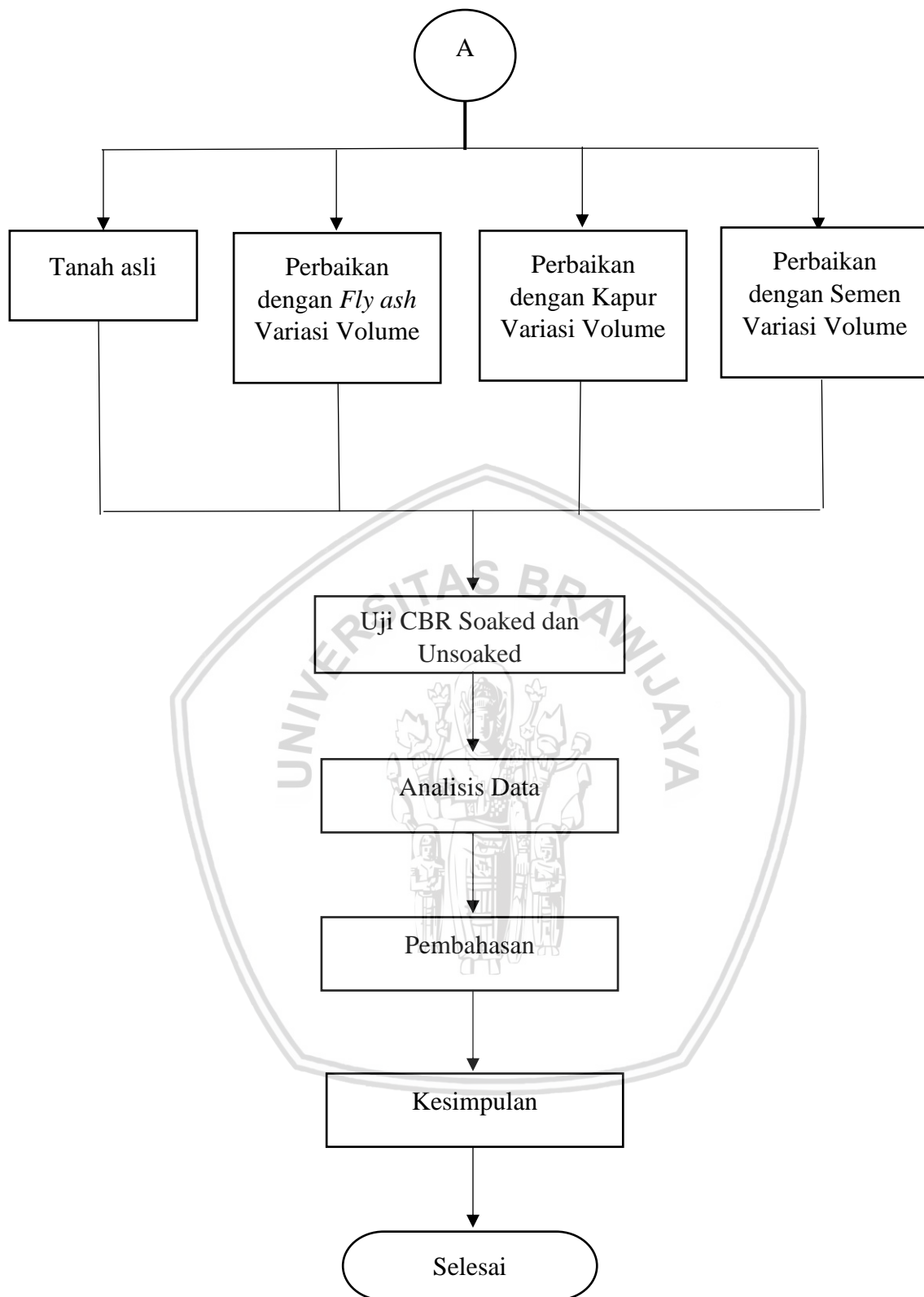
3.2. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah tanah lunak yang diambil pada proyek jalan tol gempol-pasuruan. Dalam penentuan sampel tanah dilakukan peninjauan lokasi. Setelah itu sampel tanah diambil dengan metode pengambilan terganggu (*disturb soil*). Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a) Uji Proktor Standar (ASTM D-698 (Metode B))
- b) Uji CBR (ASTM D-1883)

3.3. Diagram Alir Penelitian



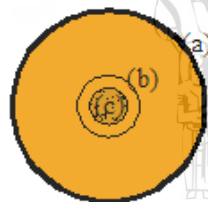


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

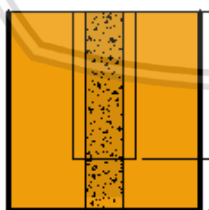
3.4. Pengujian

Langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

- 1.) Sampel tanah terlebih dahulu dikeringkan agar mudah di hancurkan
- 2.) Tanah yang telah kering dan dihaluskan kemudian diayak lolos saringan no.4
- 3.) Lakukan percobaan pemadatan agar memperoleh kadar air optimum dari tanah asli yang disebut OMC
- 4.) Sampel tanah dipadatkan menggunakan pemadatan standar, sampel tanah dimasukkan ke dalam mold dibagi menjadi tiga lapisan, setiap lapisan sampel yang dimasukkan ke dalam mold dan dipadatkan sampai kepadatan yang sudah ditentukan. Selanjutnya dilakukan pembuatan DSM dengan menggunakan pipa diameter 30 mm yang ditancapkan pada sampel, pipa diambil dan langsung digantikan dengan sampel tanah yang telah di campur dengan *fly ash*, kapur, dan semen yang dipadatkan menjadi 3 lapisan dengan volume dan kepadatan yang sudah ditentukan
- 5.) Setelah di padatkan baru dapat dilakukan pengujian.



Keterangan: (a) mold
(b) cetakan pembuatan benda uji



Gambar 3.2 Rancangan Penelitian

3.5. Analisa Data

Setelah melakukan pengujian di atas dan mendapatkan data yang diperlukan, maka diperoleh nilai CBR optimum.

3.6. Rancangan Penelitian

No.	Campuran Zat Aditif Volume Tanah Asli	<i>Fly ash</i>		Kapur		Semen	
		soaked	unsoaked	soaked	unsoaked	soaked	unsoaked
1.	100%						
2.	A%						
3.	B%						
4.	C%						
5.	D%						

Tabel 3.1 Rancangan percobaan



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan tentang hasil penelitian yang telah dilakukan dari hasil uji CBR (California Bearing Ratio) yang dilakukan di laboratorium mekanika tanah, Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Sampel yang diuji merupakan tanah lempung yang diambil dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur dengan variasi volume perbaikan tanah lunak yang telah dilakukan dengan metode *deep soil mixing*. Perbaikan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan campuran kapur, semen, dan *fly ash* dengan perbedaan volume yang telah ditentukan untuk mengetahui pengaruh yang diberikan pada setiap volume perbaikan.

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Putri dan Zaika (2018) jenis tanah yang diketahui dari pembacaan SPT serta pengujian sifat fisik dan mekanik tanah dan penelitian ini berhubungan dengan penelitian sebelumnya maka untuk kadar air optimum yang digunakan untuk setiap jenis aditif menggunakan kadar air optimum yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Untuk *Fly ash* menggunakan hasil dari penelitian Rahman dan Zaika (2018) yang diperoleh kadar *Fly ash* optimum 15% kadar air optimum (OMC) 25.7% dan untuk berat isi keringnya didapatkan 1.48 gr/cm^3 .

Hasil penelitian kapur yang dilakukan oleh Firdaus dan Zaika (2018) memperoleh kadar kapur optimum sebesar 6% dengan kadar air optimum (OMC) 26.57% dan untuk berat isi keringnya didapatkan 1.301 gr/cm^3 . Fahara dan Zaika (2018) melakukan penelitian terhadap campuran semen yang memperoleh hasil untuk kadar optimum campuran semen sebesar 10% dengan kadar air optimum sebesar 22.01% dan berat isi keringnya sebesar 1.48 gr/cm^3 .

4.1 Pembacaan Data SPT

Pengujian yang dilakukan dengan pengeboran tanah untuk mengetahui bagaimana perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan tanah dalam kondisi terganggu dengan teknik penumbukan. Dari pengujian SPT, dapat diketahui jenis tanah yang sedang diuji dengan menggunakan tabel seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengelompokan jenis tanah berdasarkan hasil SPT

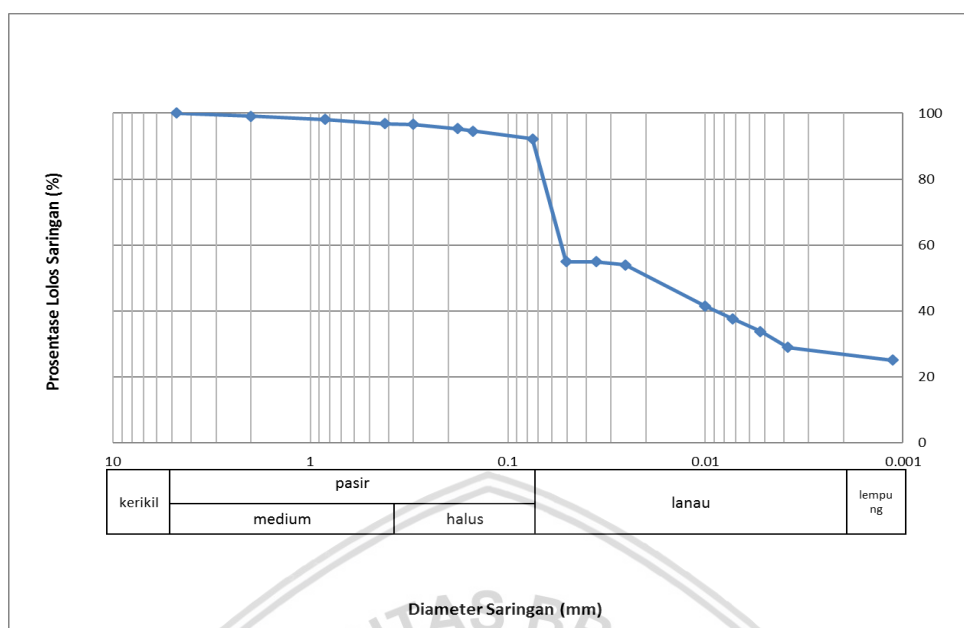
Consistency	N	c_u (kN/m ²)
Very soft	0–2	<12
Soft	2–4	12–25
Medium	4–8	25–50
Stiff	8–15	50–100
Very stiff	15–30	100–200
Hard	>30	>200

Dari hasil pengujian *Standart Penetration Test* (SPT) yang telah dilakukan oleh pihak Adhi Karya seperti pada lampiran 4, didapatkan nilai NSPT ada pada rentang 1-9 yang jika dihubungkan dengan tabel penentuan jenis tanah menurut data SPT akan didapatkan hasil bahwa tanah tersebut termasuk ke dalam jenis tanah lunak. Tanah lunak pada hasil pengujian tersebut berada pada kedalaman 1 sampai 15,5 m. Dari hasil pengujian tersebut maka perlu dilakukannya stabilisasi terhadap tanah asli pada lokasi Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Stabilisasi yang dilakukan adalah dengan menambahkan zat aditif pada tanah tersebut dengan menggunakan metode *deep soil mixing* karena kedalaman tanah lunak yang mencapai 15.5 m tidak memungkinkan mencampur zat aditif dengan metode *shallow mixing*.

4.2 Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah

4.2.1 Uji Analisis Butiran

Uji analisis butiran ini berguna untuk menentukan jenis zat aditif apa yang cocok untuk stabilisasi tanah lunak pada lokasi proyek tol gempol-pasuruan. Adapun uji analisis butiran dibagi menjadi dua bagian pengujian, yaitu uji analisis saringan dan uji analisis hidrometer. Analisis hidrometer berperan dalam menentukan distribusi ukuran butiran tanah yang mengandung butir tanah lolos saringan no. 200. Sedangkan uji analisis saringan untuk menentukan distribusi ukuran butir tanah yang tertahan saringan no. 200. Sampel yang diuji termasuk kedalam tanah lempung, maka akan cukup sulit dalam proses pengayakan, oleh karena itu dilakukan uji analisis saringan basah (*Wet Sieve Analysis*) agar hasil pembagian butiran semakin valid. Hasil dari analisis saringan dan hidrometer yang telah dilakukan oleh putri dan zaika (2018) disajikan dalam satu grafik dapat dilihat pada gambar 4.1.

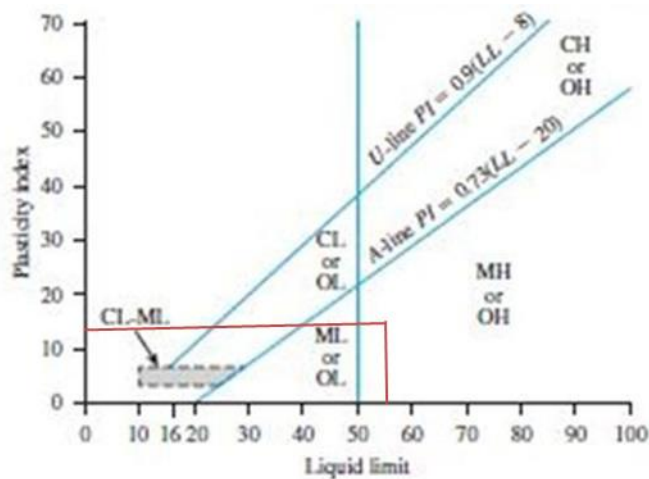


Gambar 4.1 Analisis saringan dan hidrometer

Dari gambar 4.1 di atas dapat dilihat bahwa tanah dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan ini memiliki persentase distribusi lolos saringan no. 200 sebesar 92,15% dan menurut sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) termasuk jenis tanah berbutir halus.

4.2.2. Sistem Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

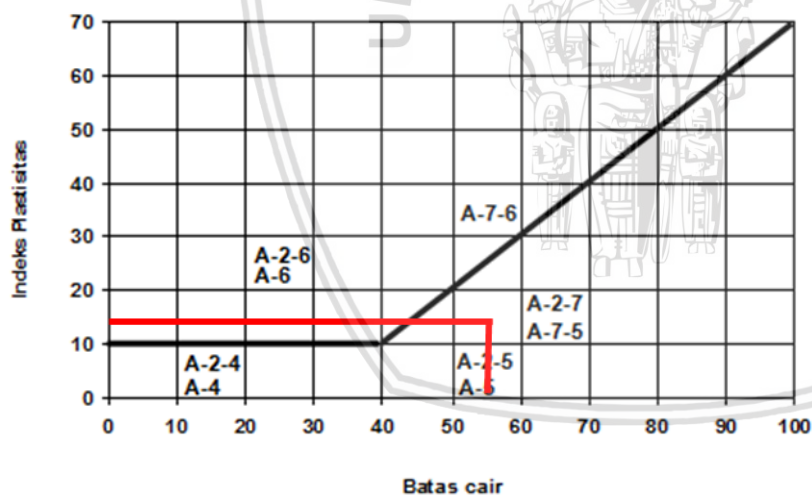
Berdasarkan sistem klasifikasi tanah sistem *unified* yang sudah diplotkan pada gambar 4.2, tanah lanau dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan ini tergolong sebagai tanah MH. Hasil ini didapatkan karena melihat dari hasil analisis butiran dengan persentase distribusi lolos saringan no. 200 sebesar 92,15% maka tanah tersebut merupakan tanah berbutir halus dan dilihat dari batas-batas atterberg tanah ini memiliki batas cair (*liquid limit*) sebesar 56,12 %, batas plastis (*plastic limit*) sebesar 43,36%, batas susut (*shrinkage limit*) sebesar 11,863 %, maka tanah ini mempunyai indeks plastisitas sebesar 12,76%.



Gambar 4.2 Klasifikasi Tanah USCS

4.2.3 Sistem Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Berdasarkan sistem klasifikasi tanah sistem *American Assosiation of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) yang sudah diplotkan pada gambar 4.3, tanah lempung dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan ini memiliki nilai $LL = 56,12\%$, $PI = 12,76\%$, maka tanah tersebut termasuk ke dalam golongan tanah berlempung (A-7-5).



Gambar 4.3 Klasifikasi Tanah AASHTO

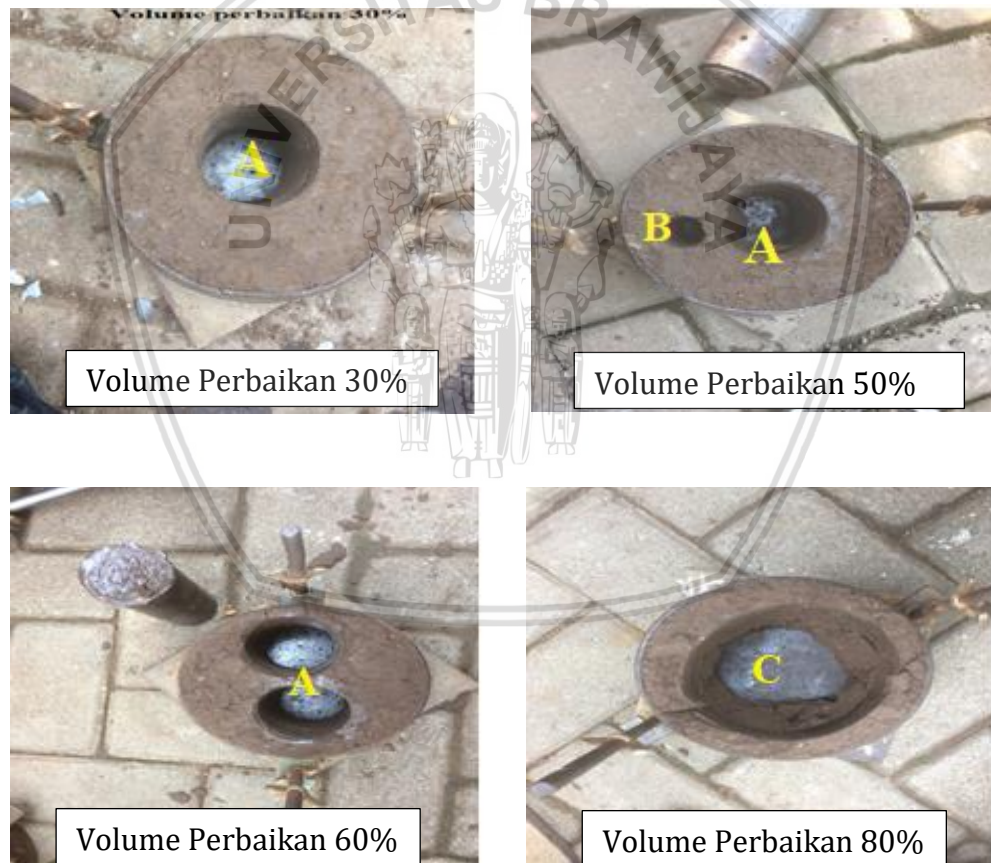
Karena indeks plastitas tanah asli adalah $12,76\%$ maka perlu dilakukan perbaikan hal itu ada pada petunjuk perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan metode analisa komponen dari departemen pekerjaan umum republic Indonesia. Maka dari itu perbaikan yang akan dilakuan adalah pencampuran dengan zat aditif dan zat aditif yang mudah didapat dan efektif dipakai untuk stabilisasi untuk tanah tersebut adalah *fly ash*, semen, dan kapur. Hasil yang baik dalam stabilisasi semen adalah bila tanah asli bergradasi baik dan mempunyai butiran halus kurang dari 50% , serta indeks plastisitas (PI) kurang dari

18%, dan batas cair (*LL*) kurang dari 40% (HRBA,1943). Untuk kapur dan *fly ash* berdasarkan tabel dari Ingles dan Metcalf,1972 cocok untuk jenis tanah lunak.

4.3 Pengujian CBR Laboratorium

Pada pengujian ini dilakukan 2 kondisi pengujian yaitu pada kondisi sampel terendam (*soaked*) dan pada kondisi sampel tak terendam (*unsoaked*). Pada setiap kondisi memiliki variasi volume yang telah ditentukan masing-masing dan kadar air yang telah didapatkan dari penelitian sebelumnya.

Pada pembuatan sampel CBR digunakan metode *deep soil mixing*, dimana sampel diberi lubang sesuai dengan kebutuhan perbaikan seperti pada **gambar 4.4** ini agar mengetahui peningkatan nilai CBR yang terjadi pada setiap volume perbaikan yang dilakukan.



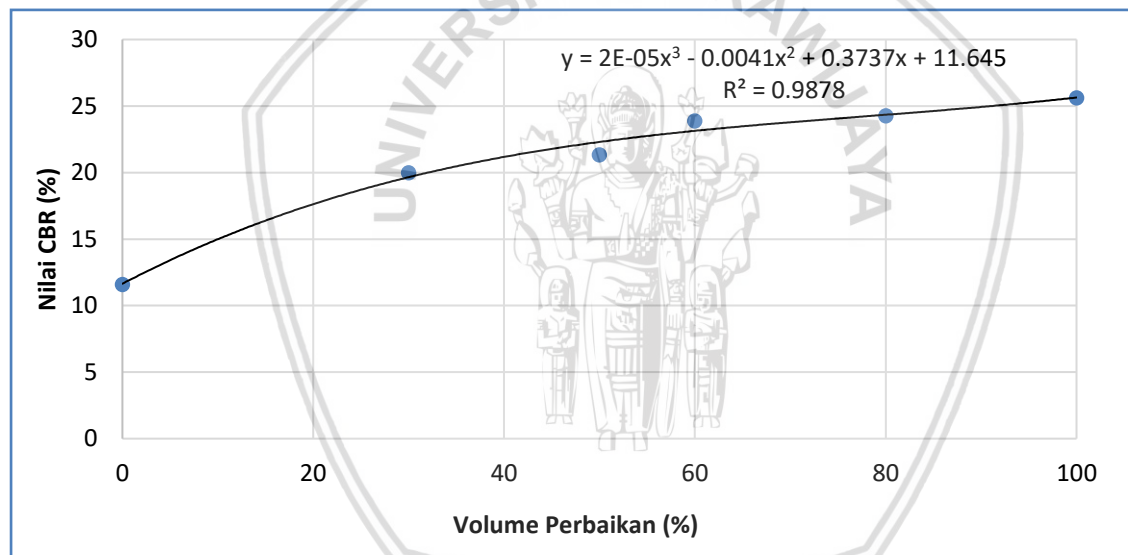
Gambar 4.4 Variasi Volume Perbaikan Tanah

4.3.1 Pengujian CBR Tak Terendam (*Unsoaked*)

a. Campuran Tanah dan *Fly ash* 15%

Pada kondisi pengujian ini sampel CBR dilakukan tanpa proses perendaman melainkan melalui proses curing selama 24 jam atau seharian seperti metode yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya agar mendapatkan hasil yang relevan.

Adapun variasi volume perbaikan yang akan diuji pada cara tak terendam ini adalah 0%,30%,50%,60%,80%,dan 100% untuk setiap jenis zat aditif memiliki variasi volume perbaikan yang sama. Sedangkan untuk komposisi campuran zat aditif yang akan dilakukan adalah 15% untuk *fly ash*, 6% untuk kapur, dan 10% untuk semen. Pemilihan komposisi campuran ini berdasarkan hasil CBR penelitian sebelumnya yang memiliki nilai CBR optimum. Hasil dari pengujian CBR tak terendam (*unsoaked*) untuk campuran 15% *fly ash* ditunjukkan pada **grafik 4.3** dan **tabel 4.3**



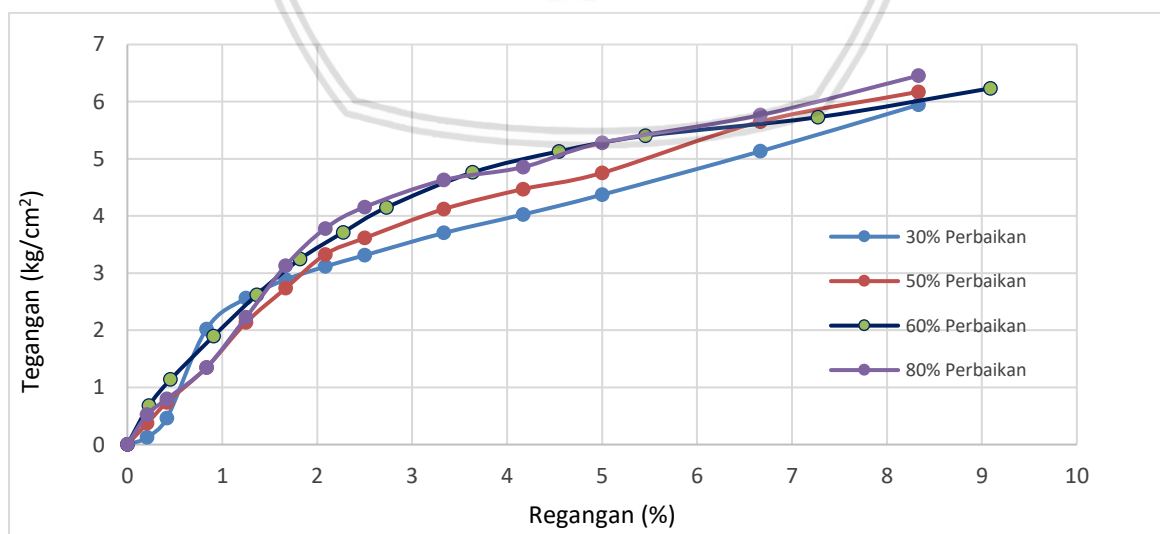
Grafik 4.1 Hubungan nilai CBR Tak Terendam dengan Volume Perbaikan tanah *fly ash* 15%

Tabel 4.2 Hasil Pengujian CBR *Unsoaked Fly Ash* 15%

No.	Volume Perbaikan Tanah Asli	Nilai CBR <i>Unsoaked</i>
1.	100%	25.63 %
2.	80%	24.27 %
3.	60%	23.88 %
4.	50%	21.35 %
5.	30%	19.99 %
6.	0%	11.60 %

Dari **tabel 4.2** di dapatkan bahwa *Fly ash* dapat meningkatkan nilai CBR *Unsoaked*. Nilai CBR tertinggi sebesar 25.63% pada perbaikan tanah seluruhnya sedangkan untuk peningkatan signifikan ada pada perbaikan dengan volume 60% sebesar 23.88%. Peningkatan nilai CBR selalu meningkat berdasarkan volume perbaikan yang dilakukan hal ini terjadi karena pada campuran *fly ash* pori pada tanah telah terisi, karena sifat *fly ash* sebagai pengikat sehingga tanah disekitar perbaikan akan menjadi padat seiring dengan volume perbaikan yang dilakukan.

Adapun tegangan dan regangan yang terjadi pada campuran tanah dan *fly ash* ini ditunjukkan pada **grafik 4.2**

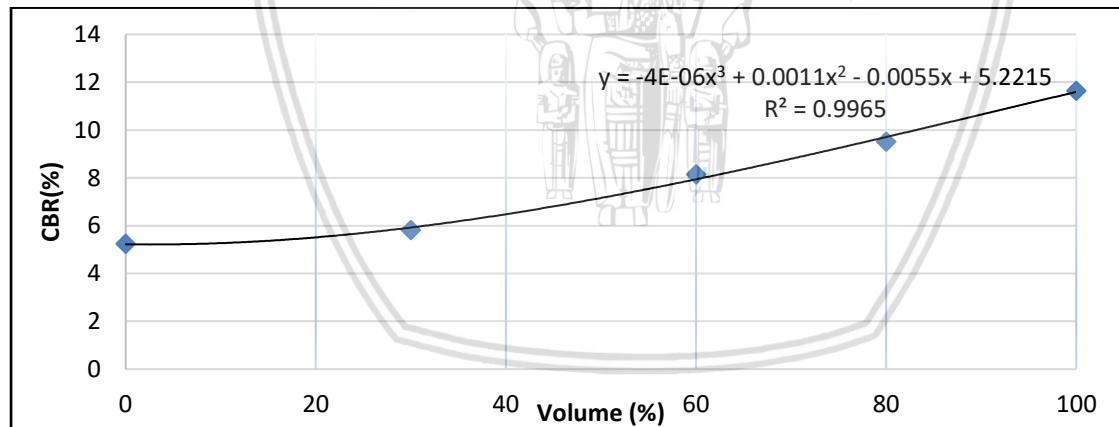
**Grafik 4.2 Perbandingan Tegangan dan Regangan *Fly ash* 15%**

Dari grafik diatas jelas menunjukan bahwa reaksi tanah yang diberi perbaikan lebih besar memiliki perbandingan tegangan dan regangan yang lebih besar pula hal itu dapat dilihat tegangan yang terjadi pada tanah yang diberi perbaikan sebesar 80% dengan campuran *fly ash* memiliki regangan sebesar 8.33 dan tegangan sebesar 6.46%.

Hal ini terjadi karena tanah yang diberi perbaikan lebih besar memiliki daya dukung yang lebih besar pula sehingga ketika diberi tekanan oleh beban diatasnya tanah yang telah diberi perbaikan lebih mampu menahan gaya yang ada hal itu dapat dilihat dari nilai tegangan dan regangan yang ada.

b. Campuran Tanah dan Kapur 6%

Setelah pengujian dengan campuran *fly ash* disini dilakukan kembali pengujian dengan campuran kapur dengan kadar campuran kapur sebesar 6% dengan metode yang sama yaitu *deep soil mixing* dan variasi volume perbaikan yang sama pula, hal yang ingin diketahui adalah peningkatan nilai CBR yang terjadi akibat perbedaan volume perbaikan antara campuran tanah dan kapur Nilai CBR yang terjadi dari perbaikan tanah dengan kapur dapat dilihat pada **grafik 4.3** dan **tabel 4.3**



Grafik 4.3 Hubungan nilai CBR Tak Terendam dengan Volume Perbaikan tanah kapur 6%

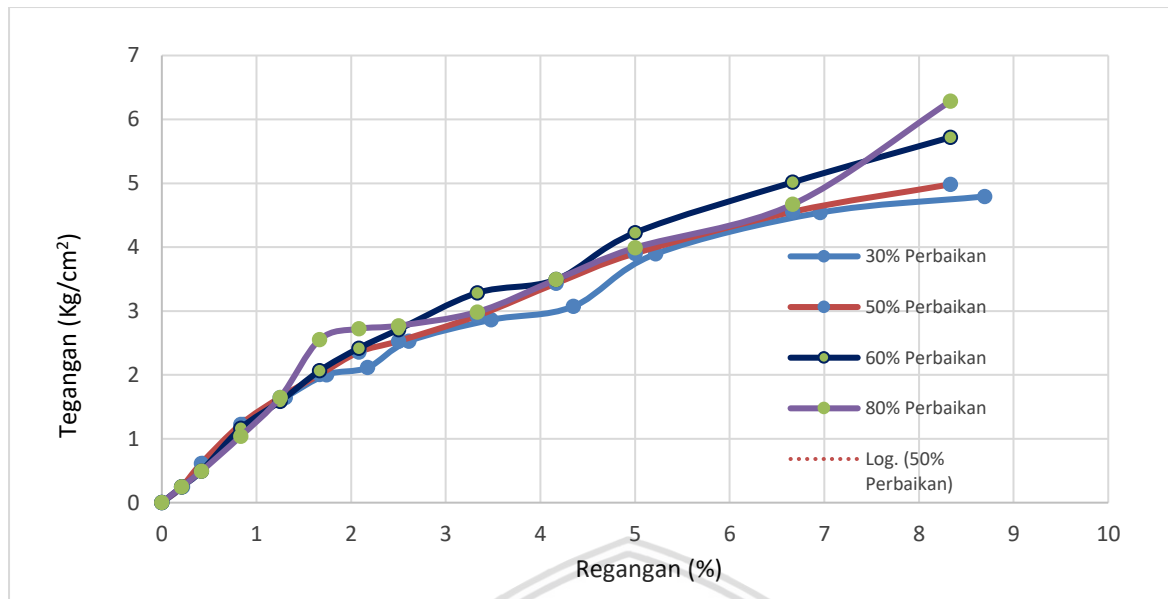
Tabel 4.3 Nilai CBR Campuran Kapur 6%

No.	Volume Perbaikan Tanah Asli	Nilai CBR <i>Unsoaked</i>
1.	100%	21.94 %
2.	80%	17.47 %
3.	60%	15.53 %
4.	50%	15.14 %
5.	30%	13.59 %
6.	0%	11.60 %

Tabel 4.3 menunjukan nilai CBR perbaikan tanah dengan kapur yang juga semakin meningkat dengan volume perbaikan yang diberikan kepada tanah lunak nilai CBR tertinggi terjadi pada perbaikan tanah seluruhnya hal ini terjadi karena sifat kapur apabila dicampur dengan tanah akan mengakibatkan berkelimpahannya ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} ion-ion ini cenderung menggantikan kation-kation seperti sodium (Na^+) dan Potasium (K^+) hal ini menyebabkan indeks plastisitas pada tanah mereduksi secara signifikan

Serta reaksi pozzolanic tanah-kapur akan menghasilkan penambahan kekuatan campuran terhadap tanah yang akan memadatkan dan keawetan pada tanah itu sendiri. Hal ini dapat dilihat dari nilai CBR pada volume perbaikan tanah sebesar 80% didapatkan nilai 17.47% yang mengalami peningkatan paling signifikan dibandingkan volume perbaikan yang lainnya hal ini menunjukan tanah bereaksi pada campuran kapur pada tanah yang diperbaiki.

Hal tersebut berdampak pula pada reaksi tegangan dan regangan yang terjadi pada tanah tersebut yang menunjukan kekakuan tanah yang terjadi akibat pencampuran kapur pada tanah tersebut yang menyebabkan daya dukung tanah meningkat dapat dilihat dari nilai tegangan yang terjadi pada tanah tersebut didapatkan nilai sebesar 6.29 kg/cm^2 dan regangan sebesar 8.33% pada volume perbaikan sebesar 80%. Hal tersebut dapat dilihat pada **grafik 4.4**. Pada grafik tersebut menunjukan tegangan dan regangan akan meningkat pula seiring dengan bertambahnya volume perbaikan yang terjadi pada tanah lunak.

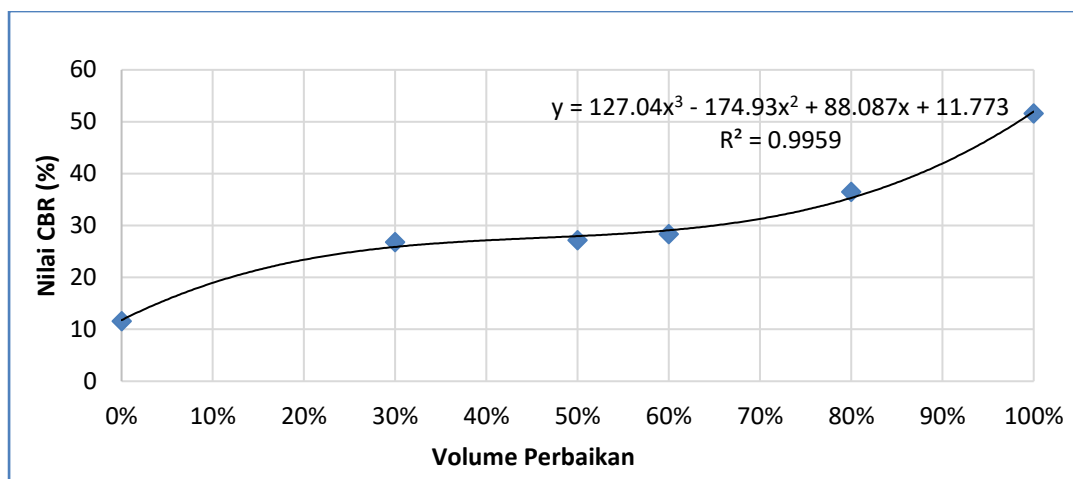


Grafik 4.4 Hubungan Tegangan dan Regangan Campuran Kapur 6%

c. Campuran Tanah dan Semen 10%

Pengujian tanah dengan semen dilakukan karena semen portland banyak digunakan untuk stabilisasi tanah sejak dulu maka disini dilakukan pula penelitian menggunakan bahan campuran stabilisasi dengan semen agar dapat membandingkan bahan aditif mana yang akan menghasilkan nilai CBR paling maksimum dan paling efisien dalam stabilisasi perbaikan tanah ini.

Pengujian dengan campuran semen ini dilakukan dengan campuran semen sebesar 10% dengan metode yang sama yaitu *deep soil mixing* perbandingan volume perbaikan diseragamkan bertujuan agar dapat membandingkan campuran aditif mana yang menghasilkan nilai CBR paling maksimum. Hasil pengujian tanah lunak dengan campuran semen 10% dengan metode *deep soil mixing* dapat dilihat pada **grafik 4.5 tabel 4.4**.



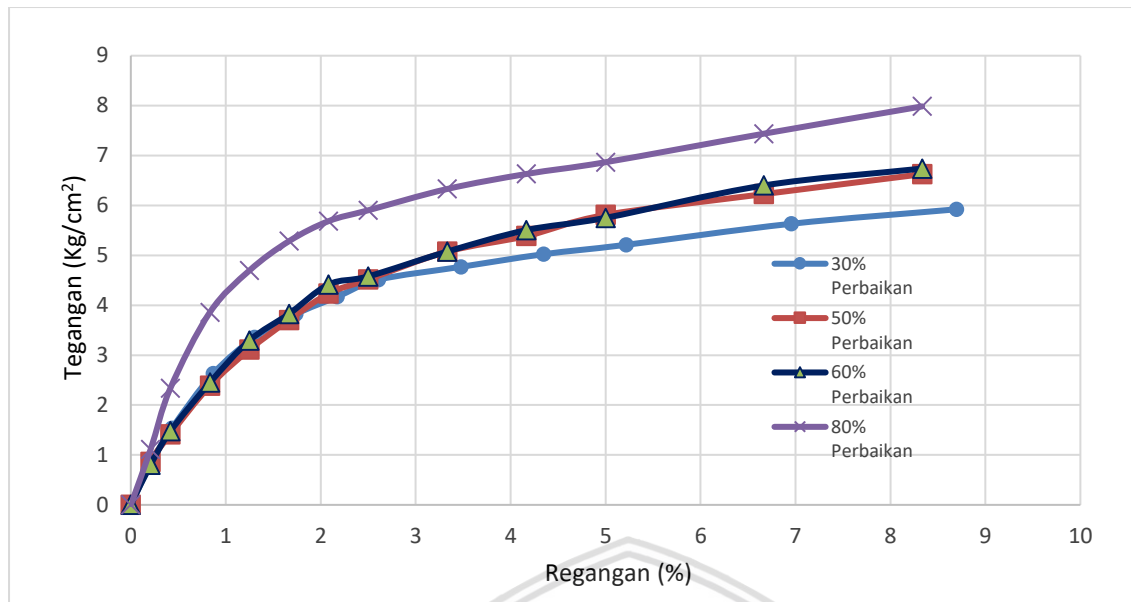
Grafik 4.5 Hubungan nilai CBR Tak Terendam dengan Volume Perbaikan tanah semen 10%

Tabel 4.4 Nilai CBR *Unsoaked* Campuran Semen 10%

No.	Volume Perbaikan Tanah Asli	Nilai CBR <i>Unsoaked</i>
1.	100%	51.61 %
2.	80%	36.50 %
3.	60%	28.34 %
4.	50%	27.18 %
5.	30%	26.79 %
6.	0%	11.60 %

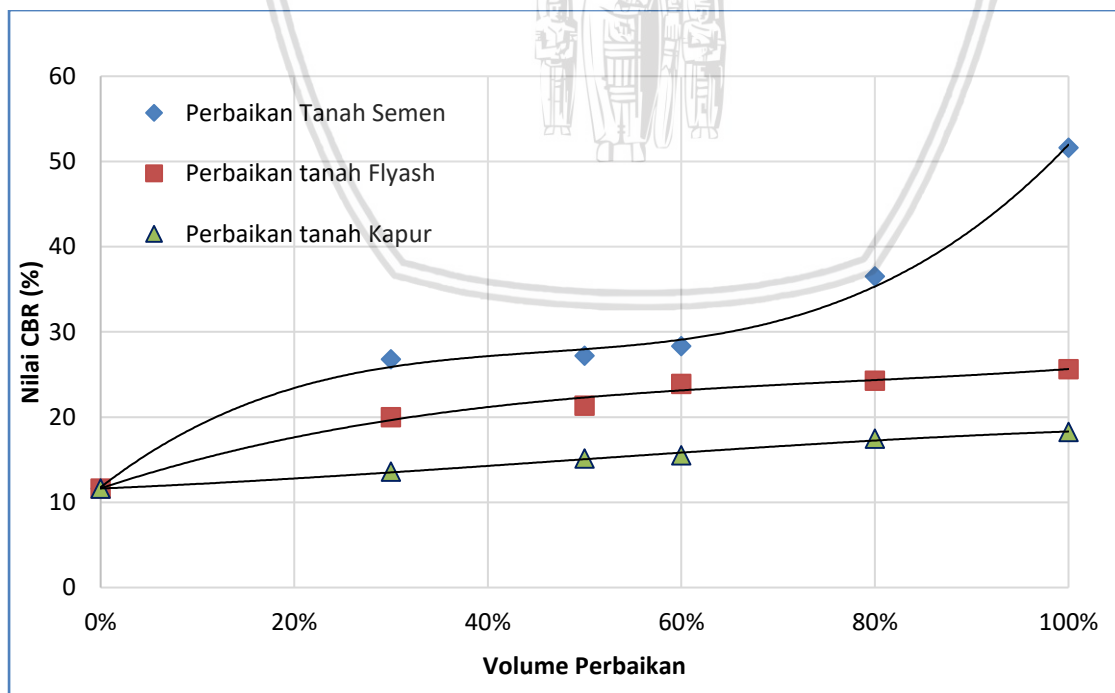
Dari **tabel 4.4** dapat dilihat bahwa perbaikan dengan nilai CBR tertinggi tetap pada perbaikan dengan volume 100% atau seluruh tanah di campur dengan semen dengan nilai CBR sebesar 51.61% hal ini terjadi karena tanah yang diteliti adalah lempung berlanau yang cocok dengan campuran tanah-semen. Itu dapat dilihat dengan meningkatnya volume perbaikan maka kekuatan dan keawetan atau daya tahan campuran juga naik.

Hubungan antara tegangan dan regangan campuran tanah-semen dapat dilihat pada **grafik 4.6** yang menunjukkan peningkatan tegangan dan regangan pada setiap perubahan volume perbaikan yang terjadi.



Grafik 4.6 Hubungan Tegangan dan Regangan Campuran Semen 10%

Dari grafik tersebut terlihat nilai tegangan terbesar didapat pada perbaikan sebesar 80% yang bernilai tegangan sebesar 8.33 kg/cm^2 dan regangannya bernilai 7.98%. Nilai CBR seluruh campuran zat aditif yang digunakan untuk stabilisasi tanah dapat dilihat pada **grafik 4.7** yang menunjukkan perbedaan kekuatan nilai CBR pada setiap masing masing campuran zat aditif dengan volume perbaikan yang diseragamkan.



Grafik 4.7 Perbandingan nilai CBR Tak Terendam dengan volume perbaikan tanah fly ash, semen, dan kapur

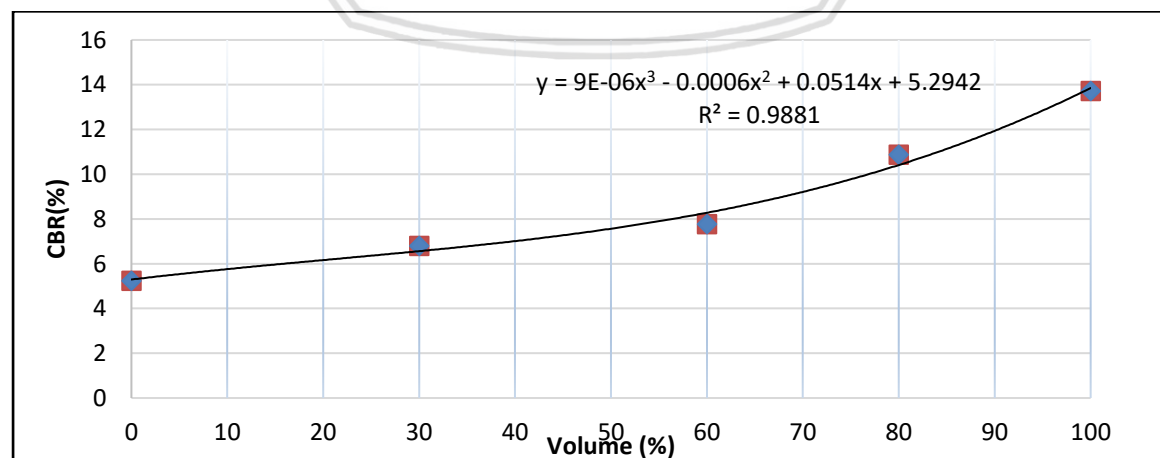
Dari **grafik 4.7** dapat dilihat perbedaan nilai CBR pada kondisi tak terendam dari masing masing campuran yang memiliki kekuatan berbeda pula pada tanah lunak disitu dapat dilihat bahwa yang mempengaruhi daya dukung tanah paling besar ada pada campuran tanah semen hal ini terjadi karena hidrasi semen membuat campuran tanah dan semen menjadi material yang keras yang menyebabkan meningkatnya daya dukung serta kekakuan dari tanah asli itu sendiri. Semen juga bereaksi dengan silika tanah untuk mengikat partikel partikel tanah disekitarnya hal ini yang menyebabkan semen memiliki daya dukung yang lebih besar dari kapur dan *fly ash* pada tanah lempung berlanau ini.

4.3.2 .Pengujian CBR Terendam (*Soaked*)

Pengujian CBR terendam bertujuan meneliti perilaku tanah pada saat kondisi terburuk dimana tanah setelah dilakukan stabilisasi mengalami kondisi jenuh air. Pengujian ini dilakukan dalam waktu 4 hari atau 96 jam pada kondisi terendam dan sampel masih berada didalam cetakan. Metode perbaikan yang dilakukan sama seperti pengujian CBR tak terendam dengan variasi volume perbaikan yaitu 0%,30%,60%,dan 100% perbaikan dengan campuran zat aditif dan kadar yang sama pula.

a. Campuran Tanah dan *Fly ash* 15%

Metode pembuatan sampel pada pengujian ini sama dengan pembuatan sampel pada saat kondisi tanah tak terendam tujuan dilakukan pengujian ini agar dapat membandingkan bagaimana perilaku tanah setelah di stabilisasi dengan 2 kondisi yang berbeda. Hasil dari pengujian CBR terendam dengan campuran *fly ash* 15% dapat dilihat pada **tabel 4.5** dan **grafik 4.8**

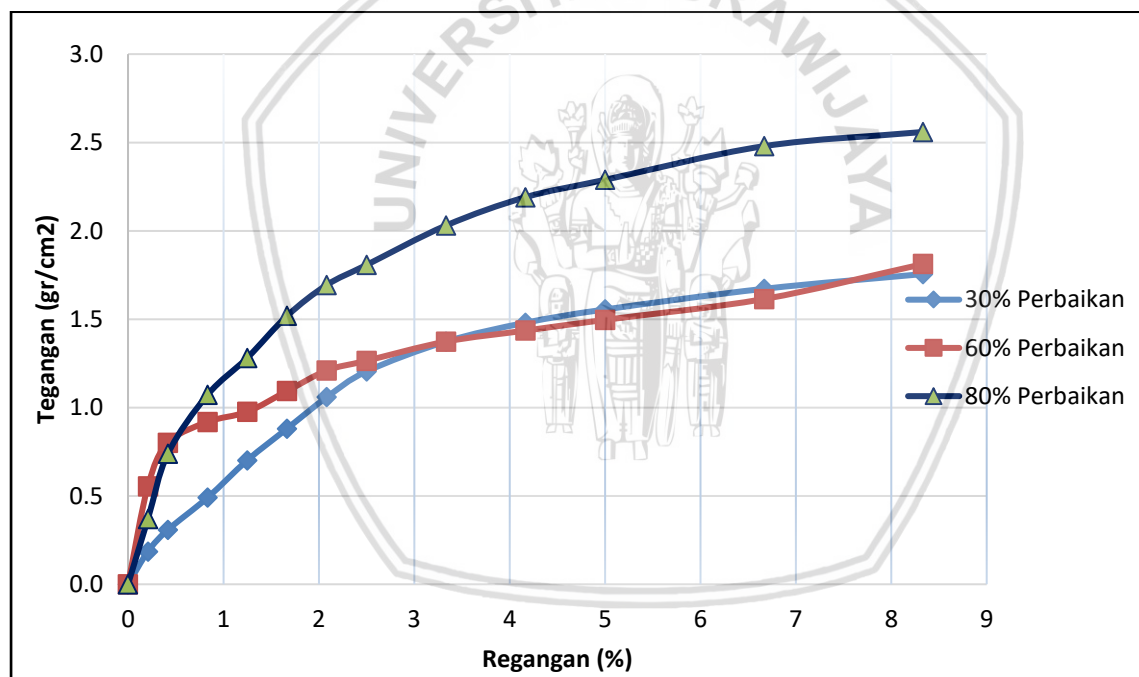


Grafik 4.8 Hubungan nilai CBR Terendam dengan Volume Perbaikan Tanah *Fly ash* 15%

Tabel 4.5 Nilai CBR Terendam campuran *fly ash* 15%

No.	Volume Perbaikan Tanah Asli	Nilai CBR <i>soaked</i>
1.	100%	13.72 %
2.	80%	10.87 %
3.	60%	7.76 %
4.	30%	6.796 %
5.	0%	5.243 %

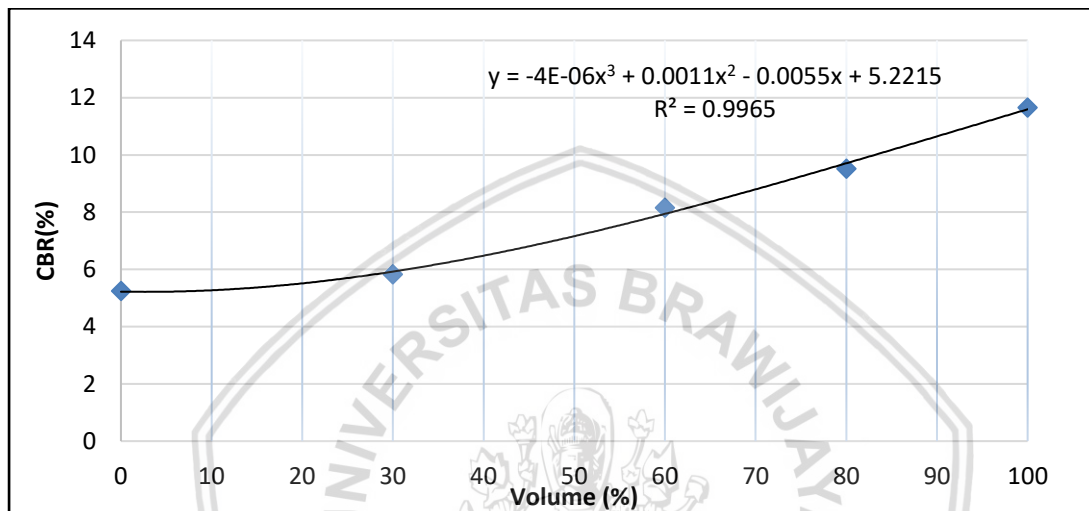
Hasil dari pengujian CBR dalam kondisi terendam dapat dilihat pada **grafik 4.8** dimana hasil yang paling signifikan yang diperoleh dari variasi volume perbaikan sebesar 10.87% dengan 80% volume perbaikan. Regangan tegangan yang didapat dari pengujian ini dapat dilihat pada **grafik 4.9**.

**Grafik 4.9 Hubungan Tegangan dan Regangan CBR Terendam Campuran *Fly ash* 15%**

Tegangan yang didapat pada pengujian ini ada pada **grafik 4.9** dimana tegangan pada perbaikan volume 60% dan 30% hasil yang didapat tidak terpaut jauh pada tegangan 8.33% untuk volume 60% tegangannya 1.81 kg/cm² dan pada saat volume 30% tegangannya sebesar 1.76 kg/cm². Hal ini menunjukkan kekakuan yang terjadi pada perbaikan volume 30% dan volume 60% tidak terlalu berbeda jauh. Sedangkan tegangan paling signifikan didapatkan pada perbaikan dengan volume 80% sebesar 2.56 kg/cm².

b. Campuran Tanah dan Kapur 6%

Pengujian tanah dan kapur pada tanah lunak wajar dilakukan karena sifat dari kapur sendiri yang dapat merubah tekstur tanah. Stabilisasi tanah dengan kapur dilakukan sama dengan apa yang dilakukan dengan campuran *fly ash* dan semen. Pengujian kali ini adalah uji CBR pada kondisi sampel terendam dan sampel pada kondisi jenuh air. Hasil pengujian dapat dilihat pada **grafik 4.10** dan **tabel 4.6**

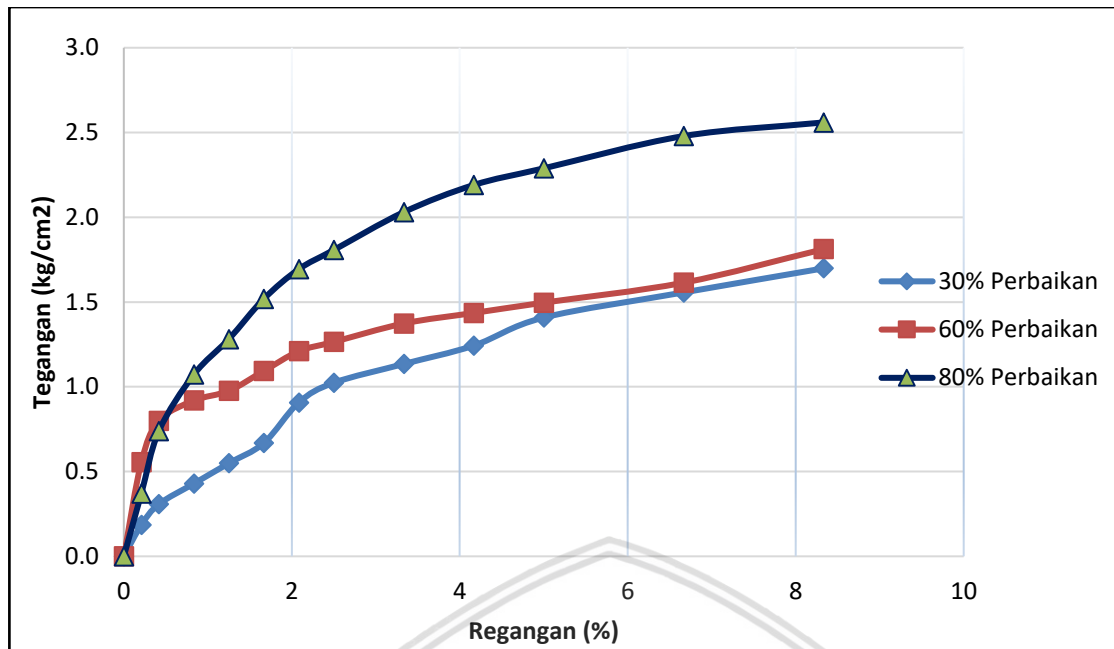


Grafik 4.10 Hubungan nilai CBR Terendam dengan Volume Perbaikan Tanah Kapur 6%

Tabel 4.6 Nilai CBR Terendam campuran Kapur 6%

No.	Volume Perbaikan Tanah Asli	Nilai CBR <i>soaked</i>
1.	100%	11.65 %
2.	80%	9.51 %
3.	60%	8.15 %
4.	30%	5.82 %
5.	0%	5.24 %

Pada **grafik 4.10** menunjukkan peningkatan nilai CBR pada campuran kapur 6% dengan kondisi pengujian terendam dimana hasil yang signifikan pada variasi perbaikan terjadi pada perbaikan dengan volume 60% dengan nilai CBR sebesar 8.15%. Untuk kekakuan tanah dapat dilihat pada **grafik 4.11** dimana **grafik 4.11** menunjukkan tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap kadarnya.

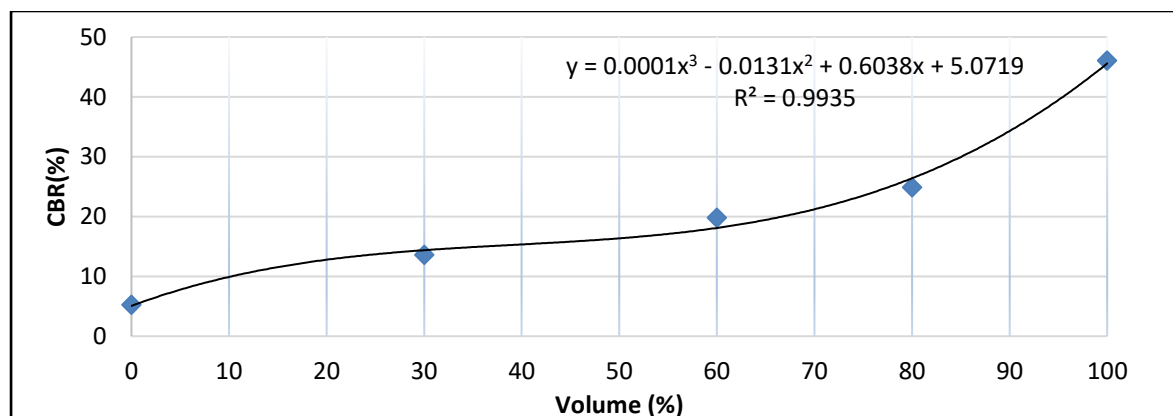


Grafik 4.11 Hubungan Tegangan dan Regangan CBR Terendam Kapur

Hubungan tegangan dan regangan yang terjadi dari hasil CBR *soaked* kapur pada regangan 6.67% didapatkan tegangan 1.567 kg/cm² untuk volume perbaikan 30% dan 1.79 kg/cm² untuk volume perbaikan 60%. Tegangan paling signifikan terjadi pada perbaikan dengan volume perbaikan 80% sebesar 2.02 kg/cm². Hal ini menunjukkan semakin luas perbaikan yang dilakukan maka kekakuan pada tanah sekitar juga semakin meningkat.

c. Campuran Tanah dan Semen 10%

Pengujian CBR campuran tanah dan semen 10% dengan cara perendaman terlebih dahulu mengkondisikan sampel tanah berada pada keadaan terburuk yang akan di bandingkan dengan kondisi tak terendam. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada **grafik 4.12** dan **tabel 4.7**

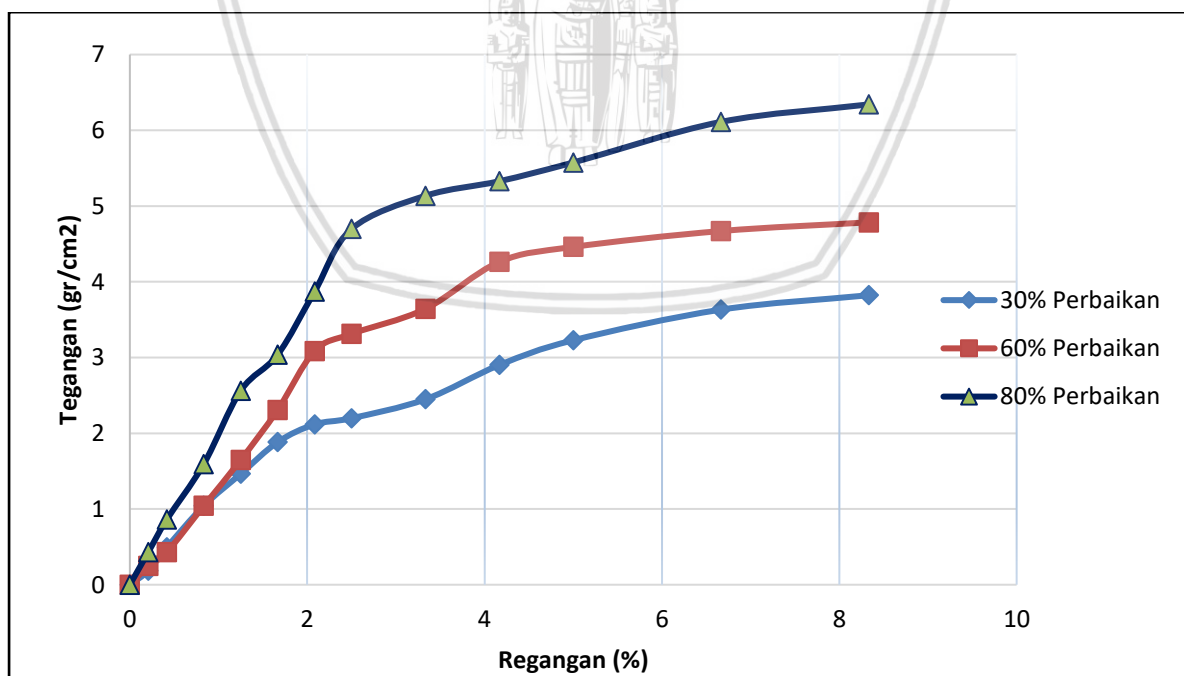


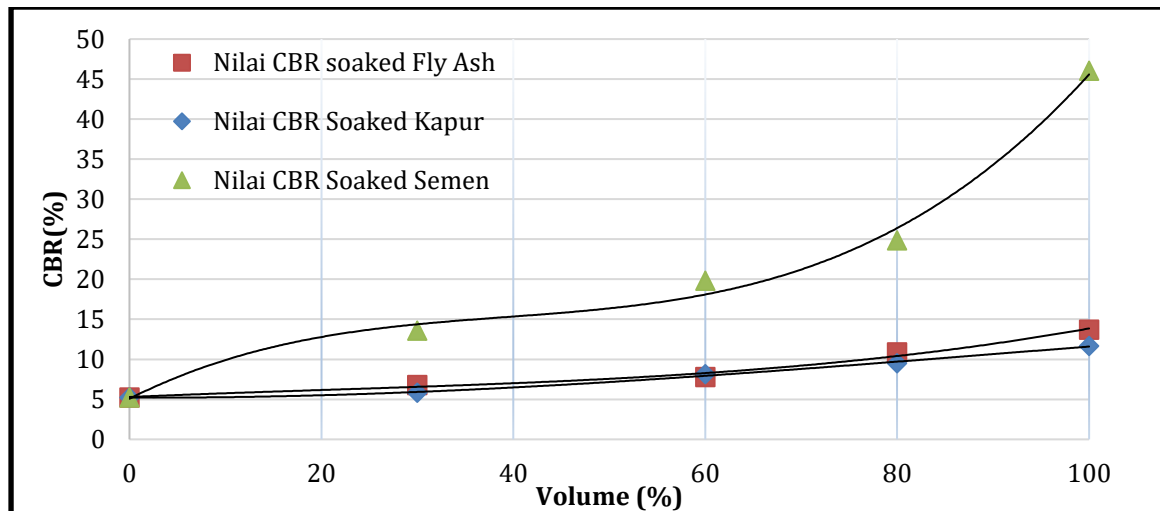
Grafik 4.12 Hubungan nilai CBR Terendam dengan Volume Perbaikan Tanah Semen 10%

Tabel 4.7 Nilai CBR Terendam campuran Semen 10%

No.	Volume Perbaikan Tanah Asli	Nilai CBR Soaked
1.	100%	46.028 %
2.	80%	24.853 %
3.	60%	19.805 %
4.	30%	13.592 %
5.	0%	5.243 %

Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada **grafik 4.12** peningkatan paling tinggi ada pada 100% perbaikan dengan nilai CBR 46.028%. Ini dikarenakan semakin luas perbaikan yang dilakukan pada tanah dan semakin kuat pula daya dukung tanah yang dihasilkan karena sifat semen yang terhidrasi dengan waktu tertentu maka memberikan daya dukung yang kuat pula pada tanah disekitarnya. Hal ini dapat dilihat pada **grafik 4.13** yang memperlihatkan hubungan tegangan dan regangan yang terjadi pada pengujian ini didapatkan hasil yang sama dengan pengujian CBR hasil yang maksimum dan signifikan ada pada perbaikan 100% .

**Grafik 4.13 Hubungan Tegangan dan Regangan CBR Terendam Semen**

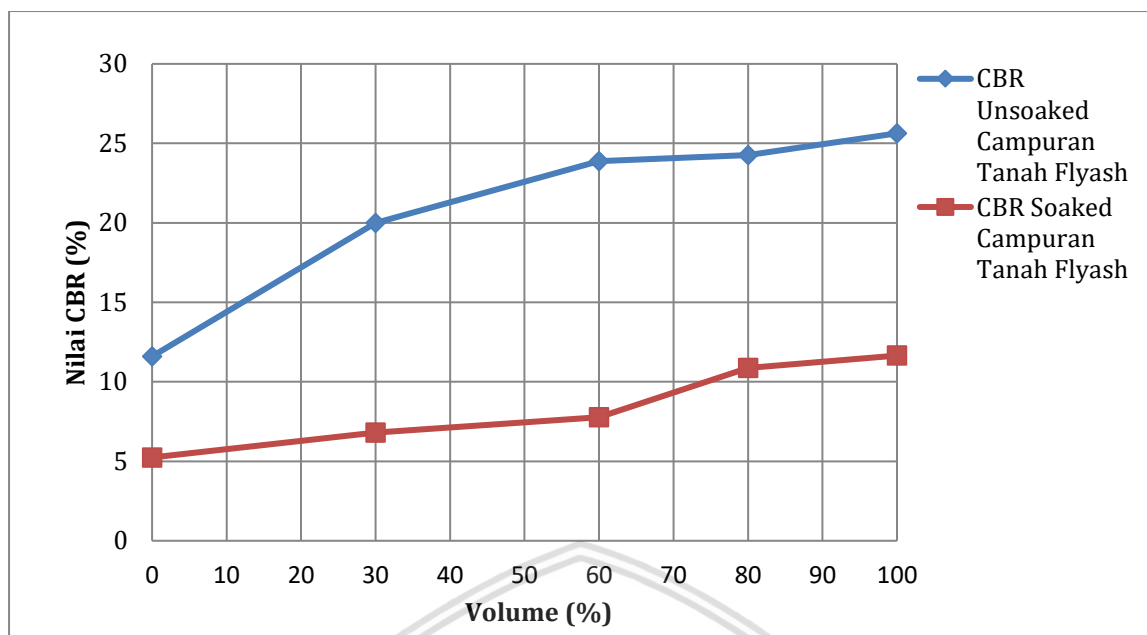


Grafik 4.14 Perbandingan nilai CBR Terendam dengan volume perbaikan tanah *fly ash*, semen, dan kapur

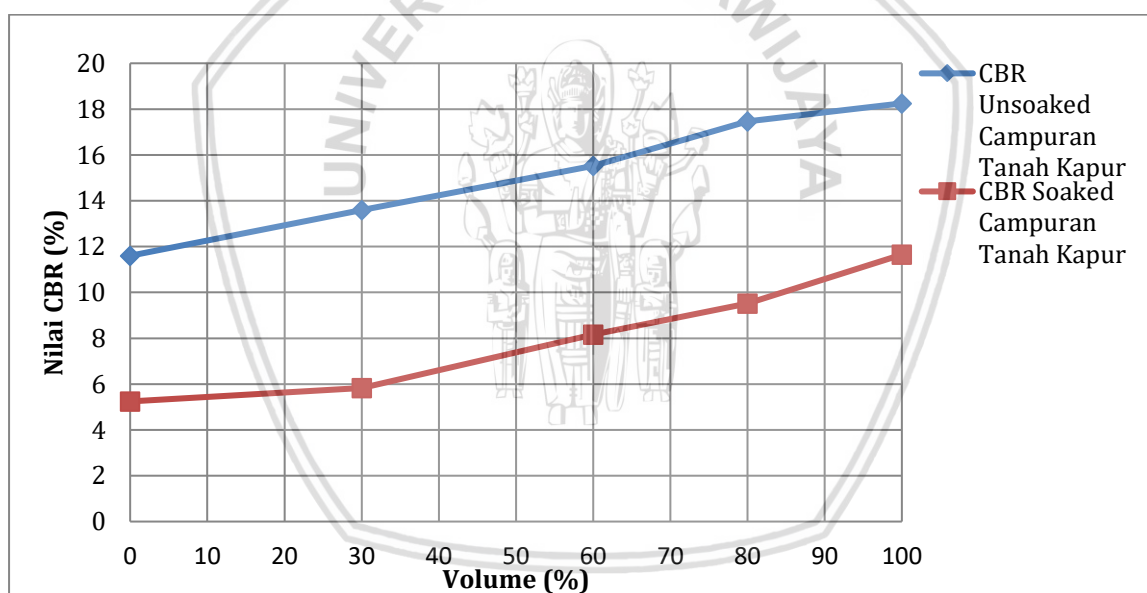
Dari **grafik 4.14** dapat dilihat perbedaan nilai CBR pada kondisi terendam dari masing masing campuran yang memiliki kekuatan berbeda pula pada tanah lunak disitu dapat dilihat bahwa yang mempengaruhi daya dukung tanah paling besar ada pada campuran tanah semen hal ini terjadi karena hidrasi semen membuat campuran tanah dan semen menjadi material yang keras yang menyebabkan meningkatnya daya dukung serta kekakuan dari tanah asli itu sendiri serta pada kondisi terendam pada campuran tanah dan semen air lebih sulit masuk kedalam pori pori tanah dibandingkan campuran tanah yang lain.

4.3.3. Perbandingan Nilai CBR Terendam dengan Tak Terendam

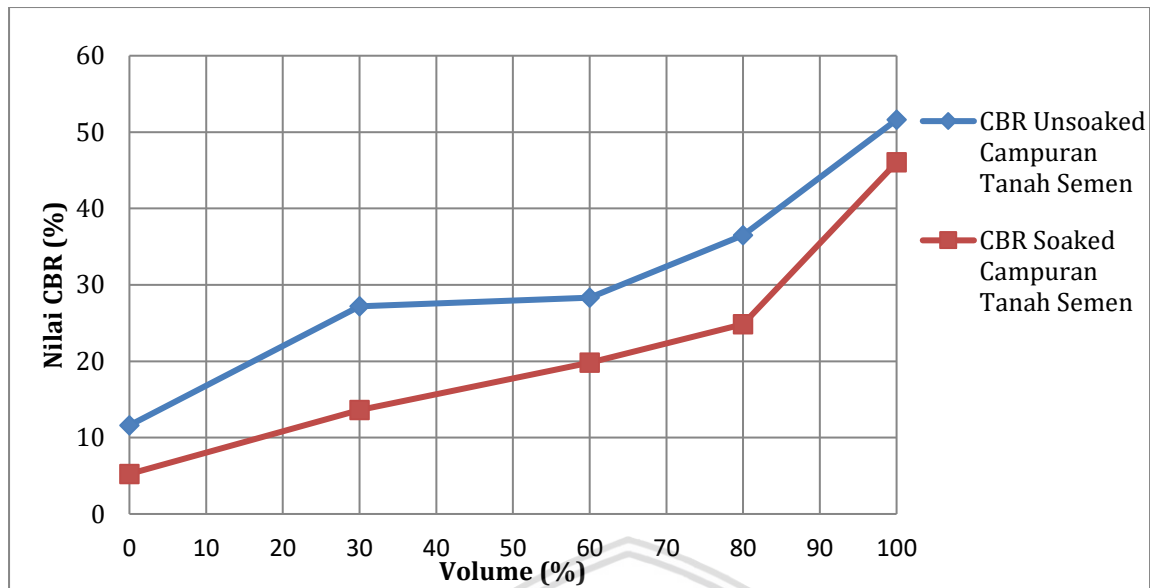
Berikut ini adalah hasil perbandingan dari nilai CBR terendam dan tak terendam dengan variasi volume perbaikan 0%, 30%, 60%, 80%, dan 100% yang disajikan pada **grafik 4.15, grafik 4.16, grafik 4.17**



Grafik 4.15 Perbandingan Nilai CBR Campuran Tanah dan *Fly ash* Terendam dan Tak Terendam



Grafik 4.16 Perbandingan Nilai CBR Campuran Tanah dan Kapur Terendam dan Tak Terendam



Grafik 4.16 Perbandingan Nilai CBR Campuran Tanah dan Semen Terendam dan Tak Terendam

Berdasarkan **grafik 4.16**, **grafik 4.15**, dan **grafik 4.14** bahwa nilai CBR *soaked* memiliki pola yang sama dengan CBR *unsoaked* yaitu peningkatan variasi volume dapat meningkatkan nilai CBR. Tetapi disini terjadi penurunan nilai CBR *soaked* dari CBR *unsoaked*. Hal ini disebabkan oleh penambahan air yang dapat mengurangi kekuatan tanah pada CBR *soaked*. Hal ini terjadi karena pada keadaan *soaked* air dapat diserap oleh tanah, sehingga menjadi lunak di permukaan yang berkontak langsung dengan air. Pada keadaan *soaked* kadar air lebih besar dari optimum sehingga pengaruh terhadap kekuatan tanah akan lebih kecil. Penggunaan campuran tanah dan semen pada kondisi *soaked* dan *unsoaked* juga sama yaitu daya dukung yang dihasilkan lebih tinggi daripada campuran yang lain maka dari itu disarankan untuk menstabilisasi tanah di Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur yang nantinya akan dibangun jalan tol menggunakan campuran tanah dan semen.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin meningkat volume perbaikan yang dilakukan semakin meningkat pula nilai CBR yang didapatkan pula baik dalam keadaan *soaked* maupun *unsoaked*.
2. Nilai CBR yang peningkatannya signifikan untuk penambahan *fly ash* pada kondisi tak terendam adalah dengan perbaikan tanah sebesar 60% dengan nilai CBR 23.88% sedangkan pada kondisi terendam pada volume perbaikan sebesar 80% dengan nilai CBR 10.87% dengan kenaikan sebesar 105.86% untuk kondisi tak terendam dan 107.44% untuk kondisi terendam
3. Nilai CBR yang peningkatannya signifikan untuk penambahan kapur pada kondisi tak terendam adalah dengan perbaikan tanah sebesar 100% dengan nilai CBR 21.94% sedangkan pada kondisi terendam pada volume perbaikan sebesar 60% dengan nilai CBR 8.15% dengan kenaikan sebesar 89.13% untuk kondisi tak terendam dan 55.5% untuk kondisi terendam
4. Nilai CBR yang peningkatannya signifikan untuk penambahan semen pada kondisi tak terendam dan terendam adalah dengan perbaikan tanah sebesar 100% dengan masing masing nilai CBR 51.61% dan 46.02% dengan kenaikan 344.91% untuk kondisi tak terendam dan 774.24% untuk kondisi terendam
5. Perbaikan paling baik untuk jenis tanah lunak dengan diambil 60% volume perbaikan berdasarkan penelitian ini ialah dengan campuran semen 10% didapatkan nilai CBR pada kondisi tak terendam sebesar 28.34% dengan prosentase peningkatan 144.31%

5.2 SARAN

Setelah melakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil penelitian ini, maka muncul saran-saran untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut. Saran-saran yang dapat diberikan adalah:

1. Penelitian perlu dilakukan dalam kurun waktu yang berbeda kurun waktu yang berbeda dapat menyebabkan sifat zat aditif dapat berubah tergantung suhu dan kondisi ruangan tempat disimpannya.
2. Diperlukan pemeriksaan alat terlebih dahulu sebelum digunakan untuk mengurangi resiko kesalahan terhadap hasil data yang akan diambil.
3. Perlu diadakan penelitian dengan menggunakan bahan aditif yang sama serta metode yang berbeda untuk tanah lempung lunak.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



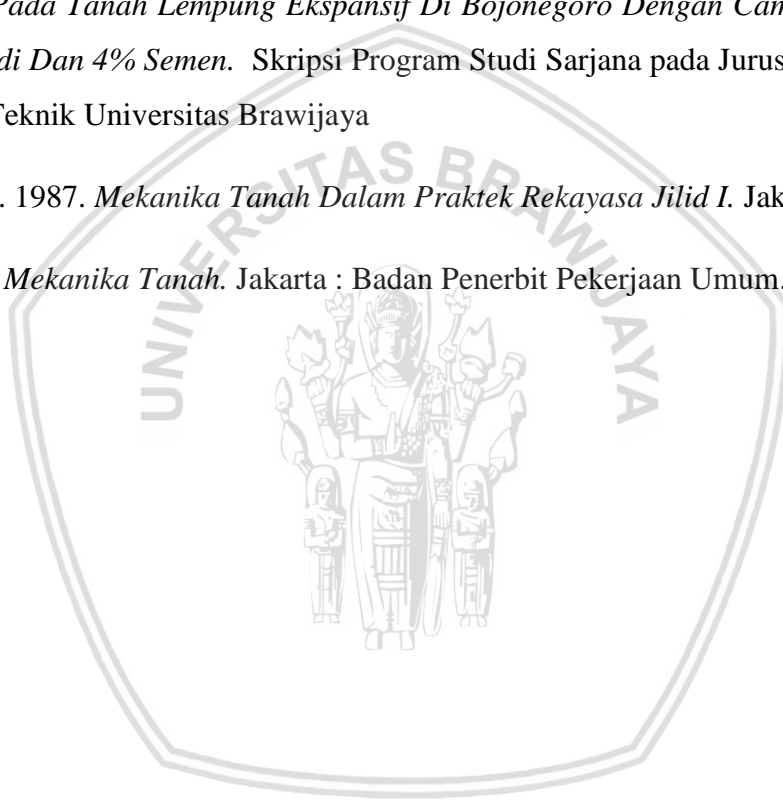
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. 1992. *Analisa dan Desain Pondasi Jilid I (Edisi Keempat)*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, Joseph E. 1993. *Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Craig, RF. 1991. *Mekanika Tanah Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta : Erlangga.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1999. *Shallow Foundation: Bearing Capacity and Settlement, CRC Press, Sacramento, California*.
- Hardiyatmo, H.C. 2012. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Indrawahyuni, Herlien. 2008. *Mekanika Tanah I*. Malang : Bargie Media.
- Munawir, As'ad. 2014. *Buku Ajar Perbaikan Tanah*. Hand Out: Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Putri, A. dan Zaika, Y. 2018. *Pengaruh Kadar Air terhadap Daya Dukung pada Tanah Lunak di Jalan Tol Gempol-Pasuruan*. Naskah Terpublikasi Teknik Sipil FT-UB. Malang: Universitas Brawijaya.
- Fathurrahman, M. dan Zaika, Y. 2018. *Pengaruh Penambahan Fly Ash pada Sifat Fisik dan CBR Tanah Lunak di Proyek Jalan Tol Gempol Pasuruan*. Naskah Terpublikasi Teknik Sipil FT-UB. Malang: Universitas Brawijaya.
- Firdaus, R. dan Zaika, Y. 2018. *Pengaruh Penambahan Kadar Kapur terhadap Daya Dukung Tanah Lunak di Kecamatan Grati Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur*. Naskah Terpublikasi Teknik Sipil FT-UB. Malang: Universitas Brawijaya.

- Fahara, A. dan Zaika, Y. 2018. *Pengaruh Penambahan Semen Portland Tipe 1 terhadap Daya Dukung Tanah Lunak Mendapatkan Nilai CBR di Proyek Tol Gempol-Pasuruan*. Naskah Terpublikasi Teknik Sipil FT-UB. Malang: Universitas Brawijaya.
- Rahmawati, Ika Meisy P. 2015. *Pengaruh Kadar Air terhadap Kuat Geser Tanah Ekspansif Bojonegoro dengan Stabilisasi Menggunakan 15% Fly Ash dengan Metode Deep Soil Mix*. Skripsi Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Widagdo, Yanuar Eko. 2014. *Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai Cbr Dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Bojonegoro Dengan Campuran 6% Abu Sekam Padi Dan 4% Semen*. Skripsi Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Terzaghi, Karl. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid I*. Jakarta : Erlangga.
- Wesley. 1997. *Mekanika Tanah*. Jakarta : Badan Penerbit Pekerjaan Umum.



(halaman ini sengaja dikosongkan)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

